

Г.В. ВОЙТКЕВИЧ
В.А. ВРОНСКИЙ

Основы учения о биосфере

Г.В. ВОЙТКЕВИЧ
В.А. ВРОНСКИЙ

Основы учения о биосфере

Книга для учителя

МОСКВА «ПРОСВЕЩЕНИЕ» 1989

ББК 28.081
В65

Рецензенты:
кандидат географических наук *Р. И. Злотин;*
учитель географии школы № 655 Москвы *М. В. Смирнова*

Войткевич Г. В., Вронский В. А.
В65 Основы учения о биосфере: Кн. для учителя. — М.: Просвещение, 1989.—160 с.: ил., карт.
ISBN 5-09-001475-2

Тема «Биосфера» впервые включена в школьную программу по географии. Учитель так или иначе сталкивается с этими вопросами на протяжении всего обучения. В предлагаемой книге изложены современные представления о биосфере как важнейшей природной системе и основе существования человека.

Дана характеристика живого вещества и его распространения по поверхности земного шара, описаны круговороты важнейших химических элементов. Охарактеризована система закономерностей и взаимосвязей в биосфере.

Книга адресована учителям географии.

В $\frac{4306010000-233}{103(03)-89}$ 102 — 89 ББК 28.081

ISBN 5-09-001475-2

© Издательство «Просвещение», 1989

ПРЕДИСЛОВИЕ

Изучение биосферы становится особенно актуальным в наши дни в связи с достижениями научно-технической революции, с усилением воздействия человека на окружающую природу. Учение о биосфере было создано выдающимся ученым-энциклопедистом В. И. Вернадским (1863—1945). Под биосферой он понимал земную область жизни организмов, которая включает нижнюю часть атмосферы, гидросферу и верхнюю часть литосферы. В таком понимании учение о биосфере органически соединяется с географической наукой в целом.

В. И. Вернадский впервые выдвинул идею о том, что человеческий фактор в развитии биосферы становится главенствующим и его необходимо учитывать в целях рационального размещения городов и предприятий, транспортных магистралей и каналов, чтобы эти сооружения рук человеческих не нарушали и не губили природу нашей планеты. Поэтому в современных условиях учение о биосфере приобрело важное практическое значение. Человеческое общество с его постоянно растущими техническими возможностями иногда от природы берет слишком много, не учитывая ее ограниченную способность к воспроизводству своих ресурсов. Только оптимизация отношений человека к биосфере может привести в обозримом будущем к возникновению ноосферы — сферы разума, что будет знаменовать переход самой биосферы в новое качественное состояние.

В настоящее время процессы взаимодействия живой и неживой материи (косного вещества биосферы) изучены в основном достаточно удовлетворительно, так что их знание совершенно необходимо широкому кругу населения нашей страны, имеющего отношение к воздействию на окружающую среду разного характера. Это обстоятельство привело к тому, что элементы учения о биосфере вошли в новую школьную программу по географии, в частности в начальный курс физической географии включены темы «Биосфера» и «Взаимодействие компонентов в природе».

К настоящему времени о биосфере написано много. Имеются многочисленные монографии и популярные книги. Мы можем отметить пособие П. П. Второва и Н. Н. Дроздова «Рассказы о биосфере» (1981), затем И. П. Герасимова «Биосфера Земли» (1976), Ю. А. Израэля и Ф. Я. Ровинского «Берегите биосферу» (1987), А. В. Лапо «Следы былых биосфер» (1987). Однако краткого изложения учения о биосфере, которое крайне необходимо в условиях реформы средней школы для учителей географии (да и биологии), нет. В связи с этим авторы предлагают настоящую книгу для учителей географии. В ней они встретят в значительной мере знакомый им материал по курсам физической географии. Однако этот материал преподнесен с несколько иных позиций по сравнению с существующими традициями. Он изложен с точки зрения непрерывного взаимодействия живого вещества с различными ранее известными и изученными явлениями в атмосфере, гидросфере и литосфере нашей планеты.

Следует отметить общее воспитательное значение учения о биосфере, которое возникло в нашей стране и является гордостью советской науки. Это учение становится неотъемлемой частью образования новых кадров советской интеллигенции и крайне необходимо для расширения общего кругозора. Оно касается наиболее важных закономерностей природных явлений нашей планеты и служит серьезной основой для построения прогнозов изменения внешней среды в ближайшем будущем.

Глава I

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БИОСФЕРЫ

Биосфера — это среда нашей жизни, это та «природа», которая нас окружает, о которой мы говорим в разговорном языке.

В. И. Вернадский

Представление о том, что живые существа нашей планеты взаимодействуют с внешней средой и влияют на изменение этой среды, возникло давно на основе наблюдений природных явлений. В этом отношении зачатки представлений о биосфере мы встречаем в трудах голландских ученых Б. Варениуса во «Всеобщей географии» и Х. Гюйгенса (1629—1695), а также у знаменитого французского натуралиста Ж. Бюффона (1707—1788).

Различные проявления жизни выступили перед человеком как общепланетарное, глобальное явление, как бы обволакивая пленкой разной мощности поверхность земного шара. Однако величайшая роль жизни как решающего фактора в динамике веществ верхних горизонтов нашей планеты выяснялась постепенно, пока не стало известно, что живые организмы могут существовать только путем обмена веществ с внешней средой. Такой обмен имеет географическое значение, поскольку оболочки Земли состоят из химических элементов, входящих в состав организмов планеты: как растений, так и животных. Эту мысль ярко выразил замечательный французский натуралист Ж. Кювье (1769—1832): «Жизнь представляет, таким образом, более или менее сложный вихрь, направление которого постоянно и который всегда захватывает молекулы, так что форма живого тела для него существеннее, чем его вещество. Пока это движение существует, тело, в котором оно имеет место, живо, оно живет. Когда движение окончательно останавливается, тело умирает».

Французские химики Ж. Б. Дюма (1800—1884), Ж. Бусенго (1802—1887), немецкий химик Ю. Либих (1803—1873) и некоторые другие исследователи выяснили значение зеленых растений в газовом обмене земного шара и роль почвенных растворов в питании растений. После исследований Ж. Бусенго в тропических лесах Южной Америки было окончательно установлено исключительно важное значение углекислоты и воды в образовании зеленых растений и вообще живых организмов.

Начало учения о биосфере обычно связывают с именем знаменитого французского натуралиста Ж. Б. Ламарка (1744—1829),

который предложил термин «биология». Определение биосферы как особой оболочки Земли и само ее название были предложены видным австрийским геологом Э. Зюссом в 1875 г. в его работе по геологии Альп. Однако подробного освещения существа и роли биосферы мы у Э. Зюсса не находим. Ж. Б. Ламарк значительно глубже подошел к анализу взаимоотношений организмов со средой их обитания и гибели, что непосредственно предшествовало нашему современному пониманию биосферы. В своей книге «Гидрогеология» он посвятил целую главу влиянию живых организмов на земную поверхность. Он писал: «...в природе существует особая сила, могущественная и непрерывно действующая, которая обладает способностью образовывать сочетания, умножать их, разнообразить их...» Далее Ж. Ламарк отмечал, что «влияние живых организмов на вещества, находящиеся на поверхности земного шара и образующие его внешнюю кору, весьма значительно, потому что эти существа, бесконечно разнообразные и многочисленные, с непрерывно сменяющимися поколениями, покрывают своими постепенно накапливающимися и все время отлагающимися остатками все участки поверхности земного шара». Из этих высказываний следует, что в отношении смелой, но правильной оценки огромной геологической роли организмов и продуктов их разложения он намного опередил свое время.

Выдающийся натуралист и географ А. Гумбольдт (1769—1858) в своем пятитомном сочинении «Космос» дал синтез знаний того времени о Земле и Космосе и на основании этого развил идею о взаимосвязи всех природных процессов и явлений. В дальнейшем углубленное представление о закономерных связях между растениями, животными и минералами было развито В. В. Докучаевым в учении о географических зонах, охватывающих все элементы земной поверхности. В 1899 г. В. В. Докучаев писал: «Изучались главным образом отдельные тела, минералы, горные породы, растения и животные,— и явления, отдельные стихии — огонь (вулканизм), вода, земля, воздух, в чем, повторяем, наука и достигла удивительных результатов, но не их соотношения, не та генетическая, вековечная и всегда закономерная связь, которая существует между силами, телами и явлениями, между мертвой и живой природой, между растительным, животным и минеральным царствами, с одной стороны, человеком, его бытом и даже духовным миром — с другой. А между тем именно эти соотношения, эти закономерные взаимодействия и составляют сущность познания естества, лучшую и высшую прелесть естествознания».

Факты и положения о биосфере накапливались постепенно в связи с развитием ботаники, почвоведения, географии растений и других, преимущественно биологических наук, а также геологических дисциплин. Те элементы знаний, которые стали необходимыми для понимания биосферы в целом, оказались связанными с возникновением *экологии* — науки, изучающей взаимоотношения организмов и окружающей среды. Работа Э. Геккеля «Всеобщая морфология организмов» знаменует начало развития экологии.

Существование биосферы Земли как определенной природной системы выражается в первую очередь в круговороте энергии и веществ при участии всех живых организмов. Идея этого круговорота была изложена в книге немецкого натуралиста Я. Молешотта. Книга выдержала несколько изданий и в 1886 г. была переведена на русский язык. Подразделение организмов по способам питания на три группы: автотрофные, гетеротрофные и миксотрофные, предложенное в 80-х годах XIX в. немецким физиологом В. Пфеффером (1845—1920), было крупным научным обобщением, способствующим пониманию основных процессов обмена веществ в биосфере.

Большое значение в области географии и экологии растений имели работы А. Энглера и Е. Варминга. А. Энглер (1844—1930) рассмотрел историю развития флоры земного шара и дал первое подразделение ее на основе палеогеографических материалов. Датский ботаник Е. Варминг (1841—1924) в своей книге «Экологическая география растений» подробно рассмотрел разнообразные морфолого-анатомические приспособления многочисленных растений к условиям среды их обитания. Он выделил четыре экологических типа растительности Земли — гидрофиты, ксерофиты, мезофиты и галофиты.

Значительно более широкое и глубокое представление о биосфере мы встречаем у В. И. Вернадского (1863—1945). Учение о биосфере является одним из крупнейших и интересных его обобщений в области естественных наук.

Основные идеи В. И. Вернадского по проблемам биосферы сложились в начале нынешнего столетия. В 1926 г. они были опубликованы в книге «Биосфера», после которой различные стороны учения о биосфере рассматривались им во многих статьях и в большой, опубликованной через 20 лет после его смерти, монографии «Химическое строение биосферы Земли и ее окружения», которую он называл главной книгой жизни.

В. И. Вернадский рассматривал биосферу как область жизни, основа которой — взаимодействие живого и косного вещества. Он писал: «Живые организмы являются функцией биосферы и теснейшим образом материально и энергетически с ней связаны, являются огромной геологической силой, ее определяющей. ...Организмы представляют живое вещество, т. е. совокупность всех живых организмов, в данный момент существующих, численно выраженное в элементарном химическом составе, в весе, в энергии. Оно связано с окружающей средой биогенным током атомов: своим дыханием, питанием и размножением». Таким образом, по В. И. Вернадскому, самая существенная особенность биосферы — это биогенная миграция атомов химических элементов, вызываемая лучистой энергией Солнца и проявляющаяся в процессе обмена веществ, росте и размножении организмов. Эта биогенная миграция атомов подчиняется двум биогеохимическим принципам:

1. Стремится к максимальному проявлению: возникает «всюдность» жизни.

2. Приводит к выживанию организмов, увеличивающих биогенную миграцию атомов.

Согласно современным представлениям, *биосфера — это своеобразная оболочка Земли, содержащая всю совокупность живых организмов и ту часть вещества планеты, которая находится в непрерывном обмене с этими организмами.*

Биосфера охватывает нижнюю часть атмосферы, гидросферу и верхние горизонты литосферы. Продукты жизнедеятельности живых существ относятся к весьма подвижным веществам, которые перемещаются в пространстве далеко за пределы обитания организмов. Поэтому естественно, что распределение живых организмов более ограничено в пространстве, чем вся биосфера в целом.

Биосфера Земли может быть охарактеризована в отношении своего состава по отдельным оболочкам, которые она охватывает.

Атмосфера — наиболее легкая оболочка нашей планеты, граничащая с космическим пространством. Через атмосферу осуществляется обмен вещества Земли с Космосом. Земля получает космическую пыль и метеоритный материал, теряет самые легкие газы: водород и гелий. Атмосфера Земли насквозь пронизывается мощной радиацией Солнца, которая определяет тепловой режим поверхности планеты, вызывает диссоциацию молекул атмосферных газов и ионизацию атомов. Обширная область разреженной верхней атмосферы состоит преимущественно из ионов. Эта область обозначается как ионосфера. Бо́льшая часть массы атмосферы имеет относительно однородный азотно-кислородный состав. В тропосфере во взвешенном состоянии присутствуют также твердые и жидкие частицы, которые обычно называют аэрозолями. Обычно принято выделять постоянные и переменные компоненты атмосферы в зависимости от длительности их пребывания в атмосфере. Примером служит вода, которая может находиться в атмосфере в разных формах и разных концентрациях. Однако это подразделение составных частей атмосферы является относительным, так как в течение длительных интервалов времени все компоненты атмосферы оказываются переменными. Химический состав атмосферы (для сухого воздуха) представлен в таблице 1. Очевидно, что главными составными частями атмосферы являются: азот, кислород, аргон и углекислый газ.

Одним из важнейших компонентов атмосферы является озон O_3. Его образование и разложение связано с поглощением ультрафиолетовой радиации Солнца, которая губительна для живых организмов. Для образования озона необходимы свободные атомы кислорода, которые возникают при разложении молекул O_2 под воздействием квантов излучения в ультрафиолетовой области. Озон образуется при столкновении:

$$O + O_2 \rightarrow O_3.$$

В то же время озон поглощает ультрафиолетовую радиацию, разлагаясь на молекулярный и атомарный кислород. Основная масса озона располагается на высотах от 10 до 50 км с максимальной

Таблица I

Средний химический состав атмосферы

Элемент	Объемные %	Весовые %
N_2	78,08	75,51
O_2	20,95	23,15
Ar	0,93	1,28
CO_2	0,03	0,046
Ne	$1{,}8\cdot10^{-3}$	$1{,}25\cdot10^{-3}$
He	$5{,}2\cdot10^{-4}$	$0{,}72\cdot10^{-4}$
CH_4	$2{,}2\cdot10^{-4}$	$1{,}2\cdot10^{-4}$
Kr	$1\cdot10^{-4}$	$2{,}9\cdot10^{-4}$
N_2O	$1\cdot10^{-4}$	$1{,}5\cdot10^{-4}$
H_2	$5\cdot10^{-5}$	$0{,}3\cdot10^{-5}$
Xe	$8\cdot10^{-6}$	$3{,}6\cdot10^{-5}$
O_3	$1\cdot10^{-6}$	$3{,}6\cdot10^{-5}$

концентрацией на высотах 20—25 км. Озоновый слой — «экран» имеет исключительно важное значение в сохранности жизни на Земле.

Гидросфера — водная оболочка Земли. Вследствие высокой подвижности воды проникают повсеместно в различные природные образования. Они находятся в виде паров и облаков в земной атмосфере, формируют океаны и моря, существуют в замороженном состоянии в высокогорных районах континентов и в виде мощных ледяных панцирей покрывают полярные участки суши. Атмосферные осадки проникают в толщи осадочных пород, образуя подземные воды. Вода способна растворять в себе многие вещества, поэтому любые воды гидросферы можно рассматривать в качестве естественных растворов разной степени концентрации. Даже наиболее чистые атмосферные воды содержат 10—50 мг/л растворенных веществ.

Гидросфера находится в тесной взаимосвязи с литосферой (подземные воды), атмосферой (парообразная влага) и живым веществом биосферы, в которое она входит в качестве обязательного компонента (табл. 2).

Подавляющая часть массы природных вод (94%) слагает Мировой океан, который представляет собой уникальную природную систему. В ней происходит грандиозный процесс обмена и трансформации энергии и вещества нашей планеты. При этом различные физические, химические и биологические процессы объединяются, образуя единую природу океана — древнейшую область биосферы Земли. Со времени образования океана протекало изменение его природы под воздействием различных природных процессов: солнечного излучения, геологических и геохимических факторов и, что особенно важно, под влиянием биологических процессов. Биологические процессы проявлялись и проявляются в развитии живых организмов, в усвоении солнечной энергии и накоплении свободной энергии в самих телах организмов, в биологиче-

Таблица 2

Распределение водных масс в гидросфере Земли
(по *М. И. Львовичу*)

Форма нахождения	Объем воды, в 10^3 км^3	% от общего объема
Мировой океан	1 370 000	94,0
Подземные воды	60 000	4,0
Подземные воды активного обмена	4 000	0,3
Ледники	24 000	1,7
Озера	280	0,02
Почвенная влага	85	0,01
Пары атмосферы	14	0,001
Речные воды	1,2	0,0001
Всего	1 458 000	100,00

ской продуктивиости и осадкообразовании иа всей площади диа Мирового океаиа, в формировании различиого рода органогеииых илов.

Морская (океаническая) вода представляет собой раствор, содержащий в средием в 1 кг 35 г вещества. Другими словами, средняя солеиость морской воды 35‰ (промилле).

Таблица 3

Средний химический состав морской воды
(в весовых %)

Элемент	%	Элемент	%	Элемент	%	Элемент	%
O	85,70	F	$1,3 \cdot 10^{-4}$	Sn	$3 \cdot 10^{-7}$	As	$1 \cdot 10^{-8}$
H	10,80	Si	$3 \cdot 10^{-5}$	U	$3 \cdot 10^{-7}$	Ge	$6 \cdot 10^{-9}$
Cl	1,90	Rb	$2 \cdot 10^{-5}$	V	$3 \cdot 10^{-7}$	Sc	$4 \cdot 10^{-9}$
Na	1,05	Li	$1,5 \cdot 10^{-5}$	Ni	$2 \cdot 10^{-7}$	Ga	$3 \cdot 10^{-9}$
Mg	$1,3 \cdot 10^{-1}$	N	$1 \cdot 10^{-5}$	Mn	$2 \cdot 10^{-7}$	Pb	$3 \cdot 10^{-9}$
S	$8,8 \cdot 10^{-2}$	P	$7 \cdot 10^{-6}$	Ti	$1 \cdot 10^{-7}$	Hg	$3 \cdot 10^{-9}$
Ca	$4 \cdot 10^{-2}$	J	$5 \cdot 10^{-6}$	Co	$5 \cdot 10^{-8}$	Th	$1 \cdot 10^{-9}$
K	$3,8 \cdot 10^{-3}$	Ba	$2 \cdot 10^{-6}$	Cs	$3,7 \cdot 10^{-8}$	Au	$4 \cdot 10^{-10}$
Br	$6,5 \cdot 10^{-3}$	Fe	$1 \cdot 10^{-6}$	Y	$3 \cdot 10^{-8}$	La	$2,9 \cdot 10^{-10}$
C	$2,8 \cdot 10^{-3}$	Al	$1 \cdot 10^{-6}$	Ag	$3 \cdot 10^{-8}$	Cl	$1,3 \cdot 10^{-10}$
Sr	$0,8 \cdot 10^{-3}$	Mo	$1 \cdot 10^{-6}$	Bi	$2 \cdot 10^{-8}$	Eu	$1 \cdot 10^{-10}$
B	$4,6 \cdot 10^{-4}$	Cu	$3 \cdot 10^{-7}$	Se	$1 \cdot 10^{-8}$	Ra	$1 \cdot 10^{-14}$

Средний химический состав морской воды, которая в гидросфере преобладает, представлеи в таблице 3. В настоящее время можио считать, что в морской воде присутствуют все химические элементы таблицы Меиделеева. Одиако преобладающая часть раствореииых веществ сложена немиогими химическими элемеитами: Na, Mg, Ca, Cl, C, S. Оии иаходятся в морской воде в виде иоиов различиого типа. Так, можио выделить катиоиы: Na^{1+}, Mg^{2+}, Ca^{2+} и

анионы Cl^{1-}, SO_4^{2-}, HCO_3^{1-}, CO_3^{2-}. Другие химические элементы присутствуют в морской воде в более низких концентрациях, чем главные ионы. Некоторые из элементов, несмотря на относительно низкую концентрацию, играют важную роль в химических процессах моря и в морских организмах. В этом отношении ведущая роль принадлежит азоту, фосфору, кремнию, которые усваиваются живыми организмами, и их концентрация в морской воде контролируется ростом и размножением морских животных и растений.

Следует отметить одну удивительную особенность океанической воды — главные ионы характеризуются *постоянным соотношением* во всем объеме Мирового океана. Это указывает на устойчивость динамического равновесия между количеством растворенных веществ, поступающих с поверхности континентов в океан, и их осаждением.

Земная кора — наиболее неоднородная твердая оболочка Земли, сложенная различными минеральными ассоциациями в виде осадочных, изверженных и метаморфических горных пород. В настоящее время земной корой принято считать верхний слой твердого тела планеты, расположенный выше сейсмической границы Мохоровичича (Мохо)[1]. Эта граница находится на разных глубинах и отмечает резкий скачок в увеличении скорости сейсмических волн, возникающих при землетрясениях. Проходя сквозь границу Мохоровичича, продольные сейсмические волны увеличивают с глубиной скорость с 6,5 до 8 км/с, поперечные волны от 3,7 до 4,5 км/с. Под материками граница Мохоровичича достигает глубины 70 км, а под океаном 10 км.

Таблица 4

Основные данные о земной коре
(по *А. Б. Ронову* и *А. А. Ярошевскому*)

Типы земной коры	Объем, 10^6 км^3	Средняя мощность, км	Средняя плотность, г/см^3	Масса, 10^{24} г
Континентальный тип	6500	43,6	2,78	18,07
Субконтинентальный тип	1540	23,7	2,79	4,30
Океанический тип	2170	7,3	2,81	6,09
Земная кора в среднем	10210	20,0	2,79	28,46

---

[1] В учебной и научной литературе применяется термин «литосфера», предложенный Э. Зюссом. В настоящее время под литосферой понимают более обширную, чем земная кора, область. Литосфера — это верхняя твердая оболочка Земли, имеющая большую прочность и переходящая в нижележащую астеносферу, прочность которой относительно мала. Она включает земную кору и верхнюю мантию до глубин примерно 200 км.

Таким образом, выделяются два основных типа земной коры — континентальный и океанический. Между ними находится промежуточный тип, который может быть назван субконтинентальным (табл. 4).

Разная мощность (толщина) земной коры в области континентов и океанов связана с различием состава слагающих ее горных пород. Океаническая кора сложена в основном базальтовым материалом, континентальная — материалом, близким по составу к гранитам. Гранитные породы содержат больше кремнекислоты и меньше магния и железа, чем породы базальтовые.

Таблица 5

Химический состав земной коры

Компонент	Континентальная кора	Океаническая кора	Земная кора в среднем
SiO_2	56,23	48,17	55,24
TiO_2	0,71	1,40	0,86
Al_2O_3	14,46	14,90	14,55
Fe_2O_3	2,36	2,64	2,42
FeO	5,41	7,37	5,86
MnO	0,13	0,24	0,15
MgO	4,77	7,42	5,37
CaO	6,98	12,19	8,12
Na_2O	2,40	2,58	2,44
K_2O	1,98	0,33	1,61
P_2O_5	0,16	0,22	0,17
$C_{орг}$	0,08	0,05	0,07
CO_2	1,48	1,37	1,44
SO_3	0,12	—	0,09
$S_{пир}$	0,08	0,05	0,08
Cl	0,03	0,02	0,03
F	0,03	0,02	0,03
H_2O	1,57	1,05	1,46

По данным таблицы 5 можно видеть, что общий химический состав земной коры определяют немногие элементы. Всего лишь восемь элементов: O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K — слагают основную ее массу. При этом ведущим и наиболее распространенным элементом является кислород, составляющий едва ли не половину массы земной коры (≈47,3%) и 92% ее объема. Он прочно связан химически с другими элементами в главных породообразующих минералах. Таким образом, в количественном отношении земная кора — это царство кислорода, химически прочно связанного в ходе геологического развития земной коры, не покидающего связанные с ним элементы.

Земная кора сложена горными породами различного типа и различного происхождения. Из них на осадочные породы приходится 9,2%, на метаморфические — 20,0% и на магматические — 70,8%.

Поверхность континентов на 80% занята породами осадочны-

ми, а океаническое дно — почти полностью свежими осадками как продуктами сноса материала континентов и деятельности морских организмов. Земная кора первоначально возникла как продукт выплавления материала первичной мантии, который в дальнейшем оказался существенно переработанным в биосфере под влиянием воздуха, воды и деятельности организмов. Континентальная часть земной коры в течение длительной геологической истории находилась в ту или другую эпоху в области биосферы, что наложило свой отпечаток на облик, состав и распространенность осадочных горных пород и сосредоточенных в них месторождений полезных ископаемых в виде угля, нефти, горючих сланцев, кремнистых и карбонатных пород, связанных в прошлом с жизнедеятельностью организмов. Поэтому континентальная земная кора имела и имеет прямое и косвенное отношение к биосфере.

Живое вещество биосферы в общем занимает ничтожное пространство в масштабе всего земного шара. Широкое распространение самого термина — «живое вещество» — связано главным образом с работами В. И. Вернадского. Он ясно показал, что все количество живых организмов Земли образует единое целое — живое вещество планеты.

Жизнь на Земле — самый выдающийся процесс на ее поверхности, получающий живительную энергию Солнца и вводящий в движение едва ли не все химические элементы таблицы Менделеева. Биосфера есть часть земного пространства, охваченного жизнью с ее активным химическим проявлением. В биосфере возможно существование организмов в любых возможных концентрациях — от единичных бактерий и спор в 1 см^3 атмосферного воздуха до мощных тропических лесов экваториальной зоны и следов жизни в пучинах Мирового океана. По своим требованиям к условиям внешней среды организмы расселяются в разных верхних горизонтах Земли: в нижней атмосфере, в гидросфере, в почвах в глубинах литосферы, пропитанных природными водами и нефтяными месторождениями (рис. 1).

Все живое вещество по своей массе занимает ничтожную долю по сравнению с любой из верхних оболочек земного шара. По современным вероятным оценкам, выполненным советскими учеными, общее количество массы живого вещества в современную эпоху равно 2420 млрд. т. Эту величину можно сравнить с массой оболочек Земли, в той или иной степени охваченных биосферой:

	Масса, в т	Сравнение
Живое вещество	$2{,}4 \cdot 10^{12}$	1
Атмосфера	$5{,}15 \cdot 10^{15}$	2146
Гидросфера	$1{,}5 \cdot 10^{18}$	602 500
Земная кора	$2{,}8 \cdot 10^{19}$	1 670 000

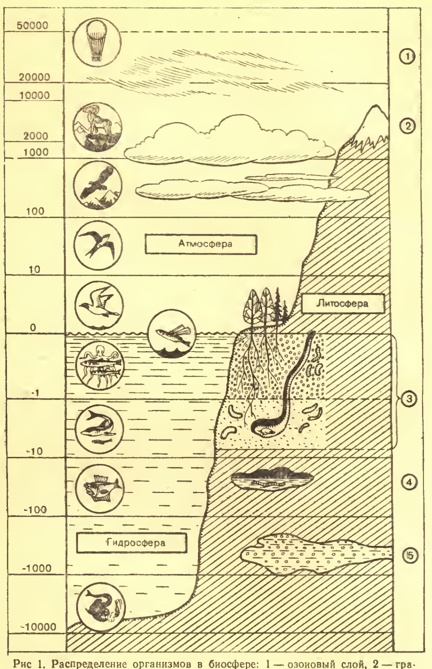


Рис 1. Распределение организмов в биосфере: 1 — озоиовый слой, 2 — граница сиегов, 3 — почва, 4 — животиые, обитающие в пещерах, 5 — бактерии в нефтяных водах (высоты и глубииы даиы в метрах)

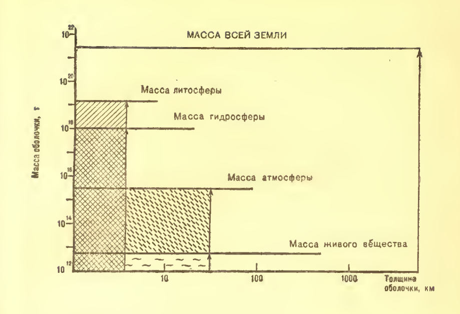


Рис. 2. Сравнение масс оболочек Земли на логарифмической шкале (по *К. К. Маркову* и др.)

По своему активному воздействию на окружающую среду живое вещество занимает особое место и качественно резко отличается от других оболочек земного шара, так же как живая материя отличается от мертвой. Сравнение масс оболочек Земли с массой живого вещества представлено также на рисунке 2.

Таблица 6

Средний химический состав живого вещества (по *А. П. Виноградову*, в весовых %)

Элемент	%	Элемент	%	Элемент	%	Элемент	%
O	70,0	Cl	$2\cdot10^{-2}$	Zn	$5\cdot10^{-4}$	As	$3\cdot10^{-5}$
C	18,0	Fe	$1\cdot10^{-2}$	Rb	$5\cdot10^{-4}$	Co	$2\cdot10^{-5}$
H	10,5	Al	$5\cdot10^{-3}$	Cu	$2\cdot10^{-4}$	Li	$1\cdot10^{-5}$
Ca	$5\cdot10^{-1}$	Ba	$3\cdot10^{-3}$	V	$n\cdot10^{-4}$	Mo	$1\cdot10^{-5}$
K	$3\cdot10^{-1}$	Sr	$2\cdot10^{-3}$	Cr	$n\cdot10^{-4}$	Y	$1\cdot10^{-5}$
N	$3\cdot10^{-1}$	Mn	$1\cdot10^{-3}$	Br	$1,5\cdot10^{-4}$	Cs	$1\cdot10^{-5}$
Si	$2\cdot10^{-1}$	B	$1\cdot10^{-3}$	Ge	$\sim10^{-4}$	Se	$<10^{-6}$
Mg	$4\cdot10^{-2}$	TR	$n\cdot10^{-3}$	Ni	$5\cdot10^{-5}$	U	$<10^{-6}$
P	$7\cdot10^{-2}$	Ti	$8\cdot10^{-4}$	Pb	$5\cdot10^{-5}$	Hg	$n\cdot10^{-7}$
S	$5\cdot10^{-2}$	F	$5\cdot10^{-4}$	Sn	$5\cdot10^{-5}$	Ra	$n\cdot10^{-12}$
Na	$2\cdot10^{-2}$						

Таким образом, все живое вещество нашей планеты составляет $^{1}/_{11\,000\,000}$ часть массы всей земной коры. Однако в качественном отношении живое вещество представляет собой наиболее высокоорганизованную часть материи Земли.

Оценка среднего химического состава живого вещества была произведена А. П. Виноградовым. По данным таблицы 6 можно видеть, что главные составные части живого вещества — это элементы, широко распространенные в природе: в атмосфере, гидросфере и в Космосе. Средний элементарный состав живого вещества отличается от состава земной коры высоким содержанием углерода. В общем по содержанию других элементов организмы не повторяют состава среды своего обитания. Они избирательно поглощают элементы, необходимые для построения их тканей. В процессе жизнедеятельности организмы используют наиболее доступные атомы, способные к образованию устойчивых химических связей. Атомы углерода имеют способность создавать длинные цепи соединений с другими атомами, что приводит к построению бесчисленных полимеров и других сложных органических высокомолекулярных систем.

Глава II

ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО БИОСФЕРЫ

...Куда бы ни проник взгляд испытателя природы — всюду жизнь или зародыш жизни.

А. Гумбольдт

Химический элементарный состав живого вещества нашей планеты, как мы видели, характеризуется преобладанием немногих элементов. H, C, O, N, P, S являются главными элементами земного живого вещества, и поэтому они названы биофильными. Атомы их создают в живых организмах сложные молекулы в сочетании с водой и минеральными солями. Эти молекулярные постройки представлены углеводами, липидами, белками и нуклеиновыми кислотами.

Углеводы — органические вещества, состоящие из C, H, O. Их общий состав может быть выражен формулой $C_nH_{2n}O_n$. Подразделяют углеводы на простые — моносахариды и сложные — полисахариды. Углеводы — основной источник энергии всех форм клеточной деятельности. Они строят прочные ткани растений (целлюлоза) и играют роль запасных питательных веществ в организмах. В химическом отношении можно представить себе углеводы как сочетание углерода и воды: $C_n(H_2O)_n$. Углеводы являются первоначальными продуктами фотосинтеза зеленых растений.

Липиды — представляют собой жироподобные вещества и жиры, плохо растворимые в воде, состоящие преимущественно из H и C. Из них построены клеточные перегородки (мембраны). В связи с тем, что жиры плохо проводят тепло, они выполняют защитную функцию, а также выполняют роль запасных питательных веществ в организмах.

Белки — наиболее сложные химические соединения в организмах. Они состоят из сочетания 20 различных аминокислот. Молекулы белка сложные и имеют большие размеры, поэтому их иногда называют макромолекулами. Молекула любой аминокислоты состоит из специфической части, или радикала [R], и части, одинаковой для всех аминокислот, включающей аминогруппу ($-NH_2$) и карбоксильную группу (COOH).

Молекулы белка обычно представляют собой цепь, состоящую из нескольких десятков и даже сотен молекул аминокислот.

Многие белки выполняют в живых организмах роль естественных катализаторов — ферментов, ускоряющих химические реак-

ции в десятки и даже сотни миллионов раз. В настоящее время известно около тысячи ферментов. В их состав, кроме белка, входят металлы Mg, Fe, Mn и др.

Нуклеиновые кислоты находятся в ядре клеток. Представлены двумя типами кислот — дезоксирибонуклеиновой (ДНК) и рибонуклеиновой (РНК). Их биологическая роль исключительно велика, поскольку они регулируют естественный синтез белка в организмах и осуществляют передачу наследственной информации из поколения в поколение.

Все перечисленные части живого вещества находятся в организмах в тесном взаимодействии.

Окружающий нас мир живых организмов биосферы представляет собой сочетание различных биологических систем разной структурной упорядоченности и разного организационного положения. Учитывая эти обстоятельства, можно выделить разные уровни существования живого вещества — от крупных молекул до растений и животных различных организаций. В настоящее время можно представить себе следующие уровни организации живой материи:

1. *Молекулярный* — самый низкий уровень, на котором биологическая система проявляется в виде функционирования биологически активных крупных молекул — белков, нуклеиновых кислот, углеводов. С этого уровня наблюдаются свойства, характерные исключительно для живой материи: обмен веществ, протекающий при превращении лучистой и химической энергии, передача наследственности с помощью кодированных структур (ДНК, РНК). Этому уровню свойственна устойчивость структур в поколениях.

2. *Клеточный* — уровень, на котором биологически активные молекулы сочетаются в единую систему. В отношении клеточной организации все организмы подразделяются на одноклеточные и многоклеточные.

3. *Тканевый* — уровень, на котором сочетание однородных клеток образует ткань. Он охватывает совокупность клеток, объединенных общностью происхождения и функций.

4. *Органный* — уровень, на котором несколько типов тканей функционально взаимодействуют и образуют определенный орган.

5. *Организменный* — уровень, на котором взаимодействие ряда органов сводится в единую систему индивидуального организма. Представлен определенными видами организмов.

6. *Популяционно-видовой* — уровень, где существует совокупность определенных однородных организмов, связанных единством происхождения, образом жизни и местом обитания. На этом уровне происходят элементарные эволюционные изменения в целом.

7. *Биоценоз и биогеоценоз* — более высокий уровень организации живой материи, объединяющий разные по видовому составу организмы. В биогеоценозе они взаимодействуют друг с другом на определенном участке земной поверхности с однород-

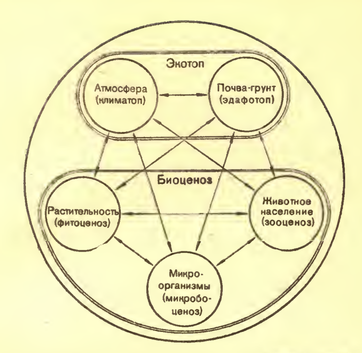


Рис. 3. Структура биоценоза и схема взаимодействия между его компонентами (по *В. Н. Сукачеву*)

ными абиотическими факторами (биотопе). Термин «биоценоз» был предложен в 1877 г. немецким биологом К. А. Мёбиусом (1825—1908). Советским геоботаником В. Н. Сукачевым (1880—1967) было создано учение о биогеоценозе как кирпичике биосферы, где связь биоценоза и биотопа выражена в виде взаимообмена веществом и энергией (рис. 3).

8. Биосферный — уровень, на котором сформировалась природная система наиболее высокого ранга, охватывающая все проявления жизни в пределах нашей планеты. На этом уровне происходят все круговороты вещества в глобальном масштабе, связанные с жизнедеятельностью организмов.

Взаимодействие организмов с внешней средой происходит путем обмена веществ — путем питания, дыхания, выделения экскрементов. По способу питания все организмы подразделяются на *автотрофные* и *гетеротрофные*. Автотрофные питаются непосредственно неорганическими минеральными веществами внешней среды. К ним относится бóльшая часть растений, осуществляющих фотосинтез. Гетеротрофные организмы питаются органическими веществами, которые представлены свежими телами либо остатками организмов автотрофных. К гетеротрофным относятся животные и большая часть микроорганизмов. Однако четкая граница между автотрофами и гетеротрофами не прослежи-

вается. Эвгленовые организмы (жгутиковые), например, сочетают автотрофный и гетеротрофный способы питания. Они относятся к *миксотрофам* и представляют собой водные одноклеточные организмы, которые в условиях хорошей освещенности питаются автотрофно, а в темных условиях (при наличии в воде растворенной органики) переходят к гетеротрофному питанию.

Круговорот веществ в биосфере (биологический круговорот) происходит при взаимодействии различных организмов, связанных между собой в *пищевых цепях*. Поэтому по отношению к пищевым связям организмы еще подразделяются на продуценты, консументы и редуценты. *Продуценты* (производители) — организмы-автотрофы — представляют комплекс зеленых растений, обеспечивающих органическим веществом все живущее население в пределах биосферы. Это первичный источник питательных веществ. *Консументы* (потребители) — организмы-гетеротрофы, потребляющие органические вещества, созданные продуцентами (растительноядные и плотоядные животные). *Редуценты* (восстановители) — организмы, разлагающие органические вещества (бактерии, грибы, простейшие животные); они как бы являются завершающим звеном биологического круговорота веществ.

Большинство организмов биосферы относится к *аэробным*, живущим в присутствии свободного кислорода. Меньшая часть, куда входят микроорганизмы,— к *анаэробным*, обитающим вне кислородной среды, преимущественно в придонных слоях замкнутых водоемов и в почвах.

Взаимодействие живых организмов, играющих выдающуюся роль в природных экосистемах, с внешней средой происходит путем обмена веществ с атмосферой, гидросферой, почвой и определяет динамику многих химических элементов в биосфере. Взаимосвязи в биосфере представлены на рисунке 4.

Среди компонентов атмосферы наиболее важными для существования живых организмов являются углекислый газ и кислород. Некоторыми группами микроорганизмов поглощается также атмосферный азот.

Огромную по объему среду обитания живых организмов образует гидросфера. Вода является важным компонентом для существования как водных, так и сухопутных организмов. В воде содержатся растворенные неорганические вещества, которые потребляются организмами для выполнения ряда физиологических функций.

Почва представляет собой поверхностный слой литосферы, в котором взаимодействие живой материи с минеральной (неорганической) осуществляется наиболее глубоко. Остатки организмов после ряда существенных изменений переходят в наиболее важную составную часть почвы — гумус, который является главным фактором плодородия почв вообще. Учение о почвах как особом естественно-историческом теле и как важном компоненте географической оболочки было основано В. В. Докучаевым. В настоящее время оно входит в качестве важной составной части в уче-

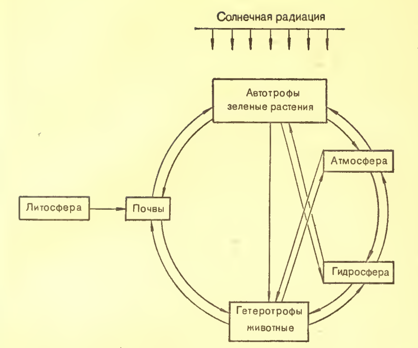


Рис. 4. Взаимосвязи в биосфере

ние о биосфере в целом. Составными частями почвы служат минералы, органические вещества, живые организмы, воды и газы.

Живое вещество нашей планеты существует в виде огромного множества организмов со своими индивидуальными признаками, разнообразных форм и размеров. Среди живых организмов встречаются мельчайшие по форме микроорганизмы и крупных размеров многоклеточные животные и растения. Размеры организмов колеблются от микрометров (малые бактерии, инфузории) до десятков метров. Гигантские растения эвкалипты достигают высоты до 150 м. Наиболее крупные синие киты имеют длину тела до 30 м. Масса такого кита достигает 150 т, что соответствует массе 25 слонов или 150 быков.

Население биосферы в видовом и морфологическом отношении также чрезвычайно многоообразно. По оценкам ботаников и зоологов, на Земле существует около 2 млн. видов организмов, из них на долю растений приходится около 500 тыс. видов, а на долю животных — 1,5 млн. видов (табл. 7).

Весь органический мир нашей планеты со времени Аристотеля традиционно подразделялся на растения и животных. Однако впоследствии изучение структур клеточной организации живых существ позволило провести более обстоятельную и новую систематизацию.

Таблица 7

Число видов основных типов растений и животных (приблизительно)

Растения		Животные	
Всего	500 000	Всего	1 500 000
В том числе:		В том числе:	
Низшие		Простейшие	15 000
Водоросли	25 000	Губки	5 000
Бактерии и грибы	100 000	Кишечнополостные	9 000
Лишайники	18 000	Черви	19 000
Высшие		Моллюски	105 000
Мохообразные	20 000	Членистоногие	
Плауновые	800	без насекомых	50 000
Хвощевые	30	Насекомые	1 000 000
Папоротникообразные	6 000	Хордовые	48 000
Голосеменные	600	(включая позвоночных)	50 000
Покрытосеменные	200 000—	Из них:	
	300 000	Птицы	10 000
		Млекопитающие	6 000

Весь мир живых существ в настоящее время подразделяют на две большие систематические группы: прокариоты и эукариоты. Самыми низкоорганизованными живыми организмами являются те, у которых отсутствует истинное ядро у клетки, ДНК располагается в клетке свободно, не отделяясь от цитоплазмы ядерной мембраной. Эти организмы получили название *прокариотов* (*Procaryota* — доядерные). У всех остальных одноклеточных и многоклеточных организмов имеется настоящее ядро, окруженное мембраной и резко отграниченное от цитоплазмы. Такие организмы названы *эукариотами* (*Eucaryota* — ядерные). Кроме дифференциации на ядро и цитоплазму, у них имеются также митохондрии, а у многих — пластиды и сложные жгутики.

Оказалось, что различия между прокариотами и эукариотами более глубокие и существенные, чем, например, между высшими животными и высшими растениями (и те и другие эукариоты).

Таким образом, живой органический мир земного шара можно подразделить на четыре царства: доядерные (прокариотов), растения, грибы и животные (некоторые ученые выделяют прокариоты и эукариоты как надцарства).

Древнейшими в геологической истории нашей планеты были прокариоты, следы жизнедеятельности которых выявлены в древнейших докембрийских отложениях земной коры. П р о к а р и о т ы подразделяются на подцарства бактерий и сине-зеленых водорослей.

Бактерии представляют собой наиболее распространенные в биосфере организмы. Самые мелкие шаровидные бактерии имеют диаметр менее 0,1 мкм. Обычно же подавляющее большинство бактерий имеет формы прямых и изогнутых палочек толщиной в

пределах 0,5—1 мкм и длиной 2—3 мкм. Среди бактерий встречаются как автотрофные, так и гетеротрофные представители. К фотосинтезирующим относятся цианобактерии, пурпурные и зеленые бактерии. Существуют также гетеротрофные бактерии, которые потребляют только органические вещества. Среди них выделяются бактерии сапрофиты, потребляющие органическое вещество мертвых тканей, и бактерии паразиты, развивающиеся только в живых организмах.

Бактерии распространены в биосфере повсеместно, но особенно их много в почвах. Обычно почвы содержат 200—500 млн. бактерий в 1 г, а богатые почвы (черноземы) — 2 млрд. и более бактерий в 1 г. В целом микрофлора почв очень разнообразна. В ней встречаются представители разных физиологических групп бактерий: бактерии гниения, нитрофицирующие, азотофиксирующие, серобактерии и др. Среди них есть аэробные и анаэробные, споровые и неспоровые формы. В водоемах наибольшее количество бактерий содержится в поверхностных слоях воды, ближе к берегу, при удалении от берега и увеличении глубины их количество уменьшается. Чистая вода содержит 100—200 бактерий в 1 мл, а загрязненная 100—300 тыс. и более. Населенность атмосферного воздуха бактериями значительно ниже, чем это имеет место в почве и природных водах.

Сине-зеленые водоросли (иногда они окрашены в черно-зеленый или оливково-зеленый цвет) обитают преимущественно в пресных водоемах, хотя некоторые виды хорошо приспособлены к жизни в морях.

Взаимоотношения прокариотов с другими царствами организмов представлены на рисунке 5.

Растения — чрезвычайно разнообразные по форме, величине и строению живые организмы биосферы. Выделяются как одноклеточные, так и многоклеточные формы. Как правило, они имеют автотрофное питание, связанное с фотосинтезом. Особую обширную группу растений составляют водоросли — низшие споровые растения, содержащие в своих клетках хлорофилл и обитающие преимущественно в воде. У водорослей отсутствует расчленение на стебли, листья и корни. В целом их тело обозначается как слоевище, или таллом. Водоросли — первые организмы нашей планеты, которые в процессе эволюции в массовом масштабе начали осуществлять фотосинтез с использованием воды и углекислоты. Кроме того, они способны усваивать азот, серу, фосфор, калий и другие химические элементы, необходимые для построения основных компонентов живой клетки.

Более высокоорганизованные группы растений — лишайники, мхи, папоротникообразные, голосеменные и покрытосеменные — являются преимущественно обитателями суши. Наиболее распространены покрытосеменные — цветковые, насчитывающие около 250 тыс. видов. Они произрастают по всему земному шару.

Грибы — низшие организмы, лишенные хлорофилла, насчитывающие до 100 тыс. видов. По размерам варьируют от мелких

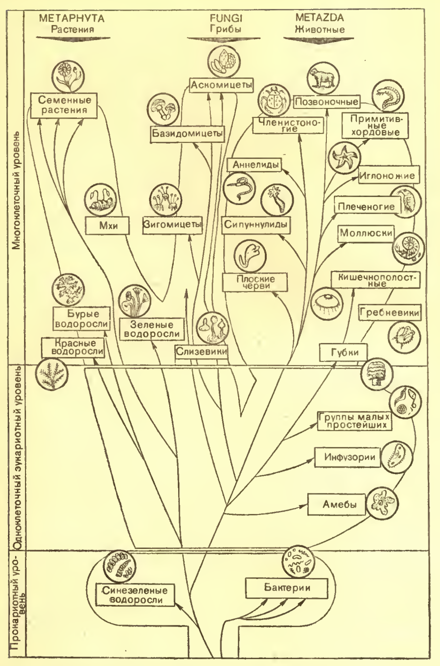


Рис. 5. Царства живых организмов. Относительно простые одноклеточные прокариоты привели к образованию сложных одноклеточных, от которых произошли три царства многоклеточных: растения, грибы и животные. Растения, грибы и животные различаются главным образом по процессам получения энергии

микроскопических организмов до крупных дождевиков. Тело подавляющего большинства грибов состоит из тонких нитчатых образований — гиф. Сочетание их образует грибницу, или мицелий. У низших грибов мицелий имеет неплотное строение, у высших он многоклеточный. Все грибы относятся к гетеротрофным организмам и по способу питания разделяются на паразиты, сапрофиты и симбионты. Около $^3/_4$ относится к сапрофитам. Они питаются гниющими остатками растений. Грибы симбионты помогают растениям усваивать труднодоступные вещества гумуса, способствуют минеральному питанию, помогают своими ферментами в углеродном обмене, активизируют ферменты высших растений, связывают свободный азот. Таким образом, грибы симбионты органически связаны с различными растениями, реже с животными.

Грибы совместно с бактериями участвуют в круговороте веществ биосферы. Они разлагают растительные остатки. Низшие почвенные грибы играют важную роль в процессах почвообразования — минерализации органического вещества и образовании гумуса.

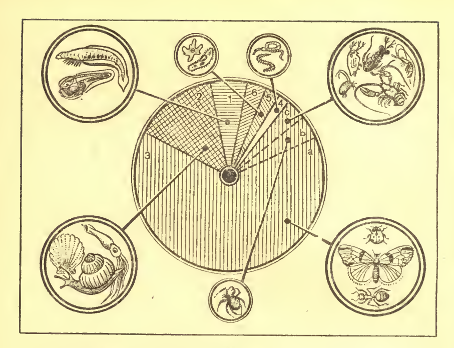
Животные — представляют собой царство гетеротрофных организмов и характеризуются большим разнообразием форм и размеров. Относительное количество видов животных представлено на рисунке 6. Наиболее многочисленные по количеству видов членистоногие *(Arthropoda)* и моллюски *(Mollusca)*.

Среди типа членистоногих выделяется класс насекомых, который по числу видов превышает все остальные виды остальных типов и классов животного мира. По существующему мнению в пределах биосферы еще столько же неучтенных видов насекомых, сколько видов известно и описано к настоящему времени. Поскольку насекомые способны к быстрому размножению, то естественно, что они играют большую роль в миграции вещества в биосфере планеты. Ориентировочные расчеты показывают, что на Земле обитает минимум 10^8 млрд. насекомых, т. е. на каждого человека приходится 250 млн. представителей этого класса.

Следующим типом по числу видов выступают моллюски, но их значительно меньше, чем насекомых. Позвоночные животные по числу видов занимают третье место, а среди них наиболее развитый класс — млекопитающие составляют одну десятую часть. Примерно половина видов позвоночных приходится на долю рыб.

Среди растений более половины видов составляют цветковые — покрытосеменные, которые возникли в относительно недавнем геологическом прошлом на поверхности континентов. Их развитие теснейшим образом связано с развитием насекомых, игравших роль опылителей. Таким образом, интенсивное видообразование среди покрытосеменных растений и насекомых находилось в тесной взаимосвязи.

Органический мир суши в видовом отношении более разнообразен, чем органический мир водной среды. Если число видов сухопутных животных составляет 93%, то водных только 3%.



Рнс. 6. Относительное колнчество вндов жнвотных: 1 — Хордовые; 2 — Моллюскн; 3 — Членистоногие (*a* — насекомые, *b* — паукообразные, *c* — ракообразные); 4 — Червн; 5 — Одноклеточные; 6 — прочие

Среди растений мы встречаем аналогичное соотношение: 92% приходится на наземные флоры и 8% на водные. Приведенные данные определенно свидетельствуют о том, что возможности для видообразования на суше были более благоприятными, чем в водной среде. Отсюда следует, что выход организмов на сушу, где условия среды были более разнообразными, в геологическом

Таблнца 8

Биомасса организмов Земли
(по *Н. И. Базилевич, Л. Е. Родину, Н. Н. Розову*)

Среда	Группы организмов	Масса, т	Соотношения, %
Континенты	Зеленые растення	$2{,}4 \cdot 10^{12}$	99,2
	Жнвотные н мнкроорганнзмы	$0{,}02 \cdot 10^{12}$	0,8
	Итого	$2{,}42 \cdot 10^{12}$	100,0
Океаны	Зеленые растення	$0{,}0002 \cdot 10^{12}$	6,3
	Жнвотные н мнкроорганнзмы	$0{,}0030 \cdot 10^{12}$	93,7
	Итого	$0{,}0032 \cdot 10^{12}$	100,0
	Всего	$2{,}4232 \cdot 10^{12}$	

прошлом планеты открыл широкие возможности для прогрессивной и ускоренной эволюции.

Общая масса живого вещества на Земле была подсчитана В. И. Вернадским, который в 1927 г. представил приближенную величину порядка 10^{21} г, или же 10^{15} т. Однако эта величина оказалась завышенной. С тех пор разные исследователи производили свои оценки биомассы на Земле, которые приводили к различным величинам. Наиболее точные данные последнего времени были получены к 1973 г. советскими учеными Н. И. Базилевич, Л. Е. Родиным и Н. Н. Розовым (табл. 8). Следует, однако, отметить, что со времени получения этих данных биомасса суши уменьшилась. Процесс уничтожения тропических лесов происходил в последние годы особенно интенсивно. Площадь уменьшения лесов достигала 1,7% в год в Центральной и Южной Америке и 0,9% в год в Африке. Тем не менее они могут быть использованы для выяснения некоторых общих закономерностей распределения живого вещества. Масса живого вещества поверхности континентов в 800 раз превышает биомассу Мирового океана. На поверхности континентов растения резко преобладают по своей массе над животными. В океане имеет место обратное соотношение. Свыше 90% биомассы моря приходится на долю животных. Это связано главным образом с тем, что в морской среде существуют наиболее благоприятные условия для питания животных. Мельчайшие растительные организмы, обитающие в освещенной зоне морей и океанов, быстро поедаются морскими животными, и, таким образом, переход органических веществ из растительной формы их нахождения в животную резко сдвигает биомассу в сторону преобладания животных.

Различные формы жизни проникают в атмосферу нашей планеты. Мелкие микроорганизмы поднимаются вверх воздушными течениями до больших высот. Таким же образом переносятся споры различных растений. Активно и на большие расстояния во время перелетов перемещаются представители позвоночных животных — птицы. Известны многочисленные формы летающих насекомых, а обширные по масштабам перелеты саранчи вызывают бедствия в ряде тропических и субтропических районов.

Глава III

БАЛАНС ЭНЕРГИИ И КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВА В БИОСФЕРЕ

Мы об этом не думаем, но все, что ходит, двигается, живет на нашей планете, есть дитя Солнца.

К. Фламмарион

В биосфере Земли происходит постоянный процесс движения и перераспределения вещества. В ней осуществляется массовый перенос твердых, жидких и газообразных тел при различных температурах и давлениях. Главные химические элементы литосферы — O, Si, Al, Fe, Mg, Na, K участвуют в большом круговороте, который проходит различные стадии развития от глубинных частей верхней мантии до поверхности самой литосферы.

Нетрудно себе представить, что магматическая порода, возникшая при кристаллизации магмы, поступившей из глубин Земли, на поверхности литосферы подвергается разложению — выветриванию в области биосферы. При этом продукты выветривания — материал различной степени измельчения — переходит естественно в подвижное состояние. Материал выветривания сносится водами и другими агентами в пониженные места рельефа и в большей части попадает в море, в океан. За этот счет образуются мощные толщи осадочных горных пород, которые в ходе времени погружаются на большие глубины (в зонах геосинклиналей) и в области повышенных температур и давлений подвергаются метаморфизму, переплавлению.

При переплавлении возникает магма, которая в благоприятных условиях может снова поступить в верхние горизонты земной коры, где застывает в форме различных интрузивных тел. Затем все повторяется сначала. Таким образом в течение веков происходит глобальный круговорот вещества: магматическая порода → осадочная порода → метаморфическая порода → переплавление и новое образование магмы. Различные участки земной коры на поверхности планеты по существу представляют собой звенья этого глобального круговорота. Учение о крупных геологических циклах было развито В. И. Вернадским, который относительно земной коры писал: «Большая часть материи в ней находится в непрестанном движении — миграциях и образует обратимые и замкнутые циклы, всегда возобновляющиеся и тождественные (геохимические циклы). Они возобновляются на поверхности энергией Солнца, поглощенной живым веществом, а в глубинах атомной энергией, обусловленной радиоактивным распадом».

Большой круговорот вещества в пределах верхних горизонтов земного шара представлен на рисунке 7. Очевидно, что наиболее интенсивному и быстрому круговороту подвергаются легкоподвижные вещества — газы и природные воды, составляющие атмосферу и гидросферу планеты. Значительно более медленный круговорот совершает материал континентов. Этот материал путем выветривания и денудации удаляется с поверхности суши за 80—100 млн. лет. В настоящее время объем суши составляет $^{1}/_{12}$ часть Мирового океана. Нетрудно себе представить, что если отсутствовали бы вековые поднятия земной коры в континентальном полушарии нашей планеты, то за несколько геологических периодов вся суша была бы снесена в океан и земной шар покрылся бы сплошной водной оболочкой. Можно полагать, что величина объема современной суши есть отражение относительного равновесия между ее образованием путем поднятий и разрушением путем сноса (главным образом под действием круговорота воды).



Рис. 7. Большой круговорот вещества в пределах верхиих оболочек Земли возникает под влиянием действия солиечиой энергии и энергии распада радиоактивиых веществ

Существенная часть круговорота вещества литосферы осуществляется в пределах биосферы Земли. Иначе говоря, образование всех осадочных горных пород совершается в биосфере под активным влиянием живого вещества, что накладывает свой отпечаток на минералогический и химический состав самих осадочных горных пород. В общем можно считать, что вся стратисфера — осадочная оболочка Земли — есть функция биосферы в широком смысле слова. Поскольку значительная часть метаморфических горных пород формируется за счет пород осадочных, а в обстановке ультраметаморфизма рождаются граниты, то можно считать, что гранитно-осадочная оболочка земного шара отражает процессы в биосфере. В настоящее время вполне обоснованным представляется положение В. И. Вернадского о том, что

«гранитная оболочка планеты есть область былых биосфер».

В современную эпоху в энергетических процессах в биосфере решающая роль принадлежит радиации Солнца, что вполне очевидно и стало известно давно. Источниками мощного излучения Солнца являются термоядерные реакции в его недрах — процессы превращения водорода в гелий. С далеких времен образования нашей планеты солнечная энергия нагревала ее поверхность и фиксировалась в той или иной форме в течение всей геологической истории, насчитывающей 4,5 млрд. лет.

Лучистая энергия Солнца — главнейший источник энергии, определяющий тепловой баланс и термический режим биосферы Земли. В связи с движением Земли вокруг Солнца по эллиптической орбите интенсивность солнечного излучения, приходящаяся на поверхность Земли, изменяется в течение года в соответствии с изменением расстояния Земля — Солнце. Минимальное расстояние Земли от Солнца (147 млн. км) — в начале января, а максимальное (152 млн. км) — в начале июля. Это изменение расстояния приводит к колебаниям суточного количества падающей радиации. При этом следует отметить, что Земля получает лишь $5 \cdot 10^{-10}$ долю общей излучаемой Солнцем энергии.

Эта в общем ничтожная доля всей суммы радиации равна $1{,}72 \cdot 10^{17}$ Вт, или $5{,}42 \cdot 10^{24}$ Дж в год. Вся эта сумма энергии распределяется на Земле так, как это показано на рисунке 8. Глав-

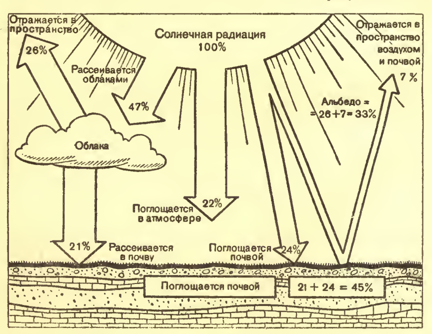


Рис 8. Поступление и распределение солнечиой энергин в пределах бносферы Землн

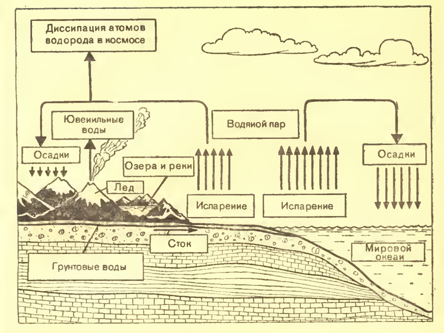


Рис. 9. Круговорот воды в биосфере

ные источники и потоки энергии земной поверхности охватывают атмосферу, океан и поверхность суши. Из всего общего количества энергии, получаемого Землей, 33% отражается облаками и поверхностью суши, а также тонкодисперсной пылью в верхних слоях атмосферы. Эта часть составляет альбедо Земли. 67% энергии поглощаются атмосферой и земной поверхностью и после ряда превращений уходят в космическое пространство.

Нагрев Мирового океана и атмосферы происходит по-разному. В океане нагревание происходит сверху, с чем связано установление довольно стабильных условий. В противоположность этому в атмосфере нагревание происходит снизу, что приводит к образованию мощных конвективных потоков и общей циркуляции воздушных масс. Океанические течения, движимые преимущественно ветром, перераспределяют поглощенное солнечное тепло в горизонтальном направлении, что влияет на снабжение атмосферы теплом. Мировой океан и атмосфера представляют собой единую тепловую систему. За счет излучения и конвекции поддерживается весь энергетический баланс нашей планеты.

Одним из грандиозных процессов на поверхности земного шара является круговорот воды (рис. 9). В биосфере вода, непрерывно переходя из одного состояния в другое, совершает малый и большой круговороты. Испарение воды с поверхности океана, конденсация водяного пара в атмосфере и выпадение осадков на

поверхность океана образуют *малый круговорот*. Когда водяной пар переносится воздушными течениями на сушу, круговорот становится значительно сложнее. При этом часть осадков испаряется и поступает обратно в атмосферу, другая — питает реки и водоемы, но в итоге вновь возвращается в океан речным и подземным стоком, завершая тем самым *большой круговорот*.

Важное свойство круговорота воды заключается в том, что он, взаимодействуя с литосферой, атмосферой и живым веществом, связывает воедино все части гидросферы: океан, реки, почвенную влагу, подземные воды и атмосферную влагу. Вода — важнейший компонент всего живого. Она участвует в процессе фотосинтеза. В жизнедеятельности растений значительная роль принадлежит транспирации, которая относится к биологическому звену круговорота воды. Например, подсчитано, что в Швеции 1 га елового леса на влажной почве за год транспирирует около 4000 м³ воды, что эквивалентно 378 мм осадков. Грунтовые воды, проникая сквозь ткани растений в процессе транспирации, привносят минеральные соли, необходимые для жизнедеятельности самих растений.

Таблица 9

Годовой водный баланс Земли
(по *М. И. Львовичу*)

Элементы водного баланса	Объем, км³	Слой, мм
Периферийная часть суши (116 800 тыс. км²)		
Осадки	106 000	910
Речной сток	44 230	380
Испарение	61 770	530
Замкнутая (бессточная) часть суши (32 100 тыс км²)		
Осадки	7500	238
Испарение	7500	238
Мировой океан (361 100 тыс. км²)		
Осадки	411 600	1140
Приток речных вод	44 230	120
Испарение	455 830	1260
Земной шар (510 000 тыс. км²)		
Осадки	525 100	1030
Испарение	525 100	1030

Интенсивность годового круговорота воды на земном шаре показана в таблице 9. Как видно по данным этой таблицы, замкнутая, бессточная, часть суши в 3,5 раза беднее осадками, чем периферийная часть суши. Приток воды в Мировой океан, кроме атмосферных осадков, обусловлен еще речным стоком с периферийной части суши, а испарение с его поверхности достигает 1260 мм в год. В целом для всего земного шара существует один источник притока воды — атмосферные осадки — и один источник расхода — испарение, составляющее 1030 мм в год.

Основные данные по круговороту воды на земном шаре позволяют вычислить активность водообмена в различных скоплениях природных вод различного масштаба (табл. 10). Наиболее замедленной частью круговорота воды является деятельность полярных ледников, что отражает медленное движение и процесс таяния ледниковых масс. Наибольшей активностью обмена, после атмосферной влаги, отличаются речные воды, которые сменяются в среднем каждые 11 дней. Чрезвычайно быстрая возобновляемость основных источников пресных вод и опреснение вод в процессе круговорота являются отражением глобального процесса динамики вод на земном шаре.

Таблица 10

Активность водообмена (по *М. И. Львовичу*)

Часть гидросферы	Объем (с округлением), тыс. км³	Активность водообмена, число лет
Океан	1 370 000	3000
Подземные воды	60 000	5000
В том числе зоны активного водообмена	4 000	300
Полярные ледники	24 000	8000
Поверхностные воды суши	280	7
Реки	1,2	0,030
Почвенная влага	80	1
Пары атмосферы	14	0,027
Вся гидросфера	1 454 000	2800

Весьма незначительная часть общего потока солнечного излучения поглощается зелеными растениями с помощью фотосинтеза. Она составляет $1 \cdot 10^{22}$ Дж в год (приблизительно 0,2% всей суммы солнечной радиации).

Фотосинтез — это мощный естественный процесс, ежегодно вовлекающий в круговорот огромные массы вещества биосферы и определяющий ее высокий кислородный потенциал. Этот процесс выступает и как регулятор основных геохимических процессов в биосфере, и как фактор, определяющий наличие свободной энергии верхних оболочек земного шара. Фотосинтез представляет собой химическую реакцию, протекающую за счет энергии солнечных лучей при участии хлорофилла зеленых растений:

$$nCO_2 + nH_2O + \text{энергия} \rightarrow C_nH_{2n}O_n + nO_2.$$

Таким образом, за счет углекислоты и воды синтезируется органическое вещество и выделяется свободный кислород. Прямыми продуктами фотосинтеза являются различные органические соединения, и весь процесс фотосинтеза в общем носит довольно сложный характер. Простейшим продуктом фотосинтеза является глюкоза, образование которой совершается следующим путем:

$$6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2.$$

3 Заказ № 1993

За немногим исключением фотосинтез происходит на всей поверхности Земли и создает огромный геохимический эффект, который может быть выражен как количество всей массы углерода, ежегодно вовлекаемой в построение органического — живого — вещества всей биосферы. В общий круговорот материи, связанной с построением органического вещества путем фотосинтеза, вовлекаются также и другие химические элементы — N, P, S, а также металлы — K, Ca, Mg, Na, Al.

Продуктивность планетарного фотосинтеза может быть выражена в количестве масс углекислоты и воды, потребляемых всеми растениями земного шара в течение года. Расчеты этой продуктивности, выполненные в разных странах, носят пока еще приближенный характер.

Таблица 11

Глобальная продуктивность фотосинтеза

Среда обитания	Используется и поглощается, 10^9 т/год		Создается и выделяется, 10^9 т/год	
	CO_2	H_2O	$C_nH_{2n}O_n$	O_2
Суша	253	103	172	184
Океан	88	36	60	64
Всего	341	139	232	248

По последним из них (табл. 11) можно видеть, что 480 млрд. т веществ ежегодно потребляется в процессе фотосинтеза зеленых растений и в то же время 248 млрд. т свободного кислорода уходит в атмосферу. При этом создается 238 млрд. т живого вещества. Расчеты также показывают, что в связи с фотосинтезом в биосфере в круговорот вовлекаются 1 млрд. т азота, 260 млн. т фосфора и 200 млн. т серы. Аналогичные расчеты могут быть выполнены и для других химических элементов, входящих в состав растений. Если мы учтем количество воды, углекислого газа и свободного кислорода в атмосфере и гидросфере, то нетрудно подсчитать, что в течение 10 млн. лет фотосинтез перерабатывает массу воды, равную всей гидросфере. В течение 6—7 лет поглощается вся углекислота атмосферы, а в течение 400 лет вся углекислота атмосферы и гидросферы. В течение 3000—4000 лет обновляется весь кислород атмосферы.

Если мы учтем, что биосфера существует на Земле не менее 3,5 млрд. лет, то можно сказать, что воды Мирового океана прошли через биогенный цикл, связанный с фотосинтезом, не менее 300 раз, а свободный кислород атмосферы Земли обновлялся не менее 1 млн. раз. Все эти величины выражают огромную напряженность фотосинтеза в истории Земли.

При гибели организма происходит обратный процесс — разложение органического вещества путем окисления, гниения и т. д. с образованием конечных продуктов разложения. Отсюда

общую реакцию фотосинтеза мы можем выразить в глобальном масштабе следующим образом:

$$mCO_2+nH_2O \underset{\text{смерть}}{\overset{\text{жизнь}}{\rightleftarrows}} C_m(H_2O)_n+mO_2.$$

Этот процесс в биосфере Земли приводит к тому, что *количество биомассы живого вещества приобретает тенденцию к определенному постоянству.* Естественно, что этот вывод имеет относительный характер. Однако величайшая напряженность жизни, повсеместное ее распространение как отражение переработанной энергии солнечного луча приводит к планетарному равновесию между продукцией живого вещества и его разложением.

В процессе круговорота небольшая часть углекислоты почвы фиксируется микроорганизмами, которые не содержат хлорофилл. Этот процесс происходит за счет энергии различных химических реакций и называется *хемосинтезом.* Хемосинтез был открыт русским микробиологом Н. С. Виноградским (1856—1953), который обнаружил микроорганизмы, способные окислять аммиак до солей азотистой, затем азотной кислоты с выделением энергии. Энергия выделяется при окислении и используется для синтеза органических веществ из CO_2, H_2O, O_2 и минеральных соединений почвы. Косвенным путем хемосинтез связан с фотосинтезом. Так, свободный кислород, используемый в хемосинтезе, естественно является продуктом фотосинтеза.

Напряженность жизни в биосфере выражается в росте и размножении организмов. Размножение организмов как следствие их роста приводит к увеличению биомассы и возрастанию обмена веществ путем питания, дыхания и выделения экскрементов. В этом процессе участвуют многие химические элементы. Поэтому совершенно очевидно, что скорость роста и размножения организмов связана с круговоротом химических элементов в биосфере. Размножение организмов в природе происходит по закону геометрической прогрессии — число потомков превышает число предков при сравнении двух поколений. Эта закономерность размножения была использована Ч. Дарвином в основе его учения о естественном отборе. Согласно его заключению, «не существует ни одного исключения из правила, по которому любое органическое существо естественно размножается в столь быстрой прогрессии, что, не подвергайся оно истреблению, потомство одной пары скоро бы заняло всю Землю».

За все время существования биосферы энергия Солнца превращалась в биогеохимическую энергию размножения живого вещества. При этом поглощенная энергия разделялась на два компонента: компонент роста, приводящий к определенной массе данного вида организма, и компонент размножения, определяющий увеличение числа организмов данного вида.

Смена поколений за единицу времени дает представление о скорости размножения. Наиболее высокая скорость размножения характерна для бактерий: смена до 60—65 поколений в сутки

(или же каждое поколение образуется по истечении 20—24 мин). Самое медленное размножение происходит у крупных многоклеточных животных и растений. В целом можно сформулировать общее правило: *скорость размножения организмов в биосфере обратно пропорциональна их размерам.*

В. И. Вернадский при расчете скоростей размножения организмов использовал формулу:

$$N_n = 2^{n\Delta},$$

где N_n — общее число организмов по истечении определенного числа суток, равного n, Δ — число поколений в сутки. Таким образом, можно считать, что

$$N = 2^{\Delta}.$$

Зная скорость размножения организмов и их размеры, можно вычислить время заселения организмами всей поверхности Земли. Поверхность Земли будет представлять собой предел пространства возможного размножения организмов. Некоторые данные о периодах времени полного заселения организмами поверхности Земли, исходя из скоростей их размножения, представлены в таблице 12. Они неоднократно приводились В. И. Вернадским в его работах по биосфере. Эти данные реальны при отсутствии преград для размножения. Однако в действительности имеются существенные преграды. К ним можно отнести термодинамические условия, недостаток источников питания, изменение внешней среды в результате деятельности самих организмов, борьба за существование как один из факторов эволюционного процесса. К этому следует добавить, что все группы растений и животных находятся в сложных взаимоотношениях друг с другом, которые выражаются как в конкуренции, так и во взаимном содружестве в разных биоценозах.

В своих глубоких обобщениях относительно процессов в биосфере в 1928—1930 гг. В. И. Вернадский дал представление о пяти основных биогеохимических функциях живого вещества.

Первая функция — газовая. Большинство газов верхних горизонтов планеты порождено жизнью. Подземные горючие газы — продукты разложения органических веществ растительного происхождения, ранее захороненных в осадочных толщах. Наиболее распространенным является болотный газ — метан (CH_4).

Вторая функция — концентрационная. Организмы накапливают в своих телах многие химические элементы. На первом месте, естественно, стоит углерод. В углях содержание углерода по степени концентрации в тысячи раз больше, чем в среднем для земной коры. Нефти — концентраторы углерода и водорода, поскольку они имеют биогенное происхождение. В отношении концентрации металлов первое место занимает кальций. Целые горные хребты сложены остатками животных с известковым скелетом. Концентраторами кремния выступают диатомовые водоросли, радиолярии и некоторые губки, йода — водоросли лами-

Таблица 12

Заселение живым веществом поверхности Земли
(по *В. И. Вернадскому*)

Вид организмов	Скорость заселения, в сутках
Зеленый планктон (среднее)	168—183
Большие водоросли (среднее)	1782—28 931 (49—79 лет)
Бактерии	
Vibrio cholerae	около 1,25
Bacterium typhi	около 1,8
Инфузория	
Leucophrys patula	10,6 (максимум)
Диатомовые	
Nitschia putrida	16,8 (максимум)
Инфузории	
Paramaecium caudata	31—67,3
Paramaecium aurelia	42,7 (среднее)
Schijzophytae:	112—143
Насекомые	
Anabaena baltica Culex pungens	203
Aphis mali	392
Musca domestica	366
Цветковые растения	
Trifolium repens	4076 (больше 11 лет)
Рыбы	
Clupea harengus	2736—4485 (7—12 лет)
Pleuronectes platessa	2159 (около 6 лет — максимум)
Gadus morrhua	1556 (больше 4 лет — максимум)
Птицы	
куры	5600—6100 (15—18 лет)
Млекопитающие	
крысы	около 2800 (около 8 лет)
домашняя свинья	около 2800 (около 8 лет)
дикая свинья	около 20 628 (больше 56 лет)
слон индийский	около 376 000 (больше 1000 лет)

нарии, железа и марганца — особые бактерии. Фосфор накапливается позвоночными животными, сосредоточиваясь в их костях.

Третья функция — окислительно-восстановительная. Она играет важную роль в истории многих химических элементов с переменной валентностью. В процессе своей жизнедеятельности и после своей гибели организмы, обитающие в разных водоемах, регулируют кислородный режим и этим самым создают условия, благоприятные для растворения или же осаждения ряда металлов с переменной валентностью (V, Mn, Fe).

Четвертая функция — биохимическая. Эта функция связана с ростом, размножением и перемещением живых организмов в пространстве. Размножение приводит к быстрому распространению живых организмов, «расползанию» живого вещества в разные географические области.

Пятая функция — биогеохимическая деятельность человечества. Она охватывает все возрастающее количество вещества

земной коры для нужд промышленности, транспорта, сельского хозяйства. Эта функция занимает особое место в истории земного шара и заслуживает особо внимательного изучения.

Таким образом, все живое население нашей планеты — живое вещество — находится в состоянии крайней напряженности. Эта напряженность реально выражается в круговороте всех биофильных химических элементов. Как отмечает видный советский геохимик А. И. Перельман, положение о круговороте атомов следует считать одним из основных законов геохимии биосферы. Закон этот сводится к следующему: в биосфере атомы участвуют в биологических круговоротах, в ходе которых они поглощаются живым веществом и заряжаются энергией, затем покидают живое вещество, отдавая накопленную энергию во внешнюю среду.

Рассмотрим основные черты круговорота наиболее типичных биофильных химических элементов в биосфере.

Углерод в биосфере Земли часто представлен наиболее подвижной формой CO_2. Источником первичной углекислоты биосферы является вулканическая деятельность, связанная с вековой дегазацией мантии и нижних горизонтов земной коры.

Миграция CO_2 в биосфере Земли протекает двумя путями. Первый путь заключается в поглощении его в процессе фотосинтеза с образованием органических веществ и последующем захоронении их в литосфере в виде торфа, угля, горючих сланцев, рассеянной органики осадочных горных пород. По второму пути миграция углерода осуществляется созданием карбонатной системы в различных водоемах, где CO_2 переходит в H_2CO_3, HCO_3^{1-}, CO_3^{2-}. Затем с помощью растворенного в воде кальция (реже магния) происходит осаждение карбонатов ($CaCO_3$) биогенным и абиогенным путем. Возникают мощные толщи известняков. Согласно расчетам советского ученого А. Б. Ронова, отношение захороненного углерода в продуктах фотосинтеза к углероду в карбонатных породах составляет примерно 1 : 4. Наряду с этим большим круговоротом углерода существует еще ряд малых его круговоротов на поверхности суши и в океане.

В пределах суши (рис. 10), где имеется растительность, CO_2 атмосферы поглощается в процессе фотосинтеза в дневное время. В ночное время часть его выделяется растениями во внешнюю среду. С гибелью растений и животных на поверхности происходит окисление органических веществ с образованием CO_2. Особое место в современном круговороте углерода занимает массовое сжигание органических веществ и постепенное возрастание содержания CO_2 в атмосфере, связанное с ростом промышленности и транспорта.

Кислород — наиболее активный газ. В пределах биосферы происходит быстрый обмен кислорода среды с живыми организмами или их остатками после гибели. Растения главным образом производят свободный кислород в течение веков, а животные являются его потребителями путем дыхания. В составе земной атмосферы кислород занимает второе место после азота.

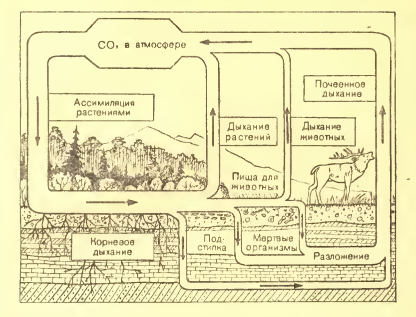


Рис. 10. Круговорот углерода в биосфере начинается с фиксации атмосферной углекислоты в процессе фотосинтеза в растениях и некоторых микроорганизмах. При фотосинтезе из углекислого газа и воды образуются углеводы, а свободный кислород уходит в атмосферу (по *Б. Болину*)

Господствующей формой нахождения кислорода в атмосфере является молекула O_2. Круговорот кислорода в биосфере весьма сложен, поскольку он вступает во множество химических соединений минерального и органического мира (рис. 11). Свободный кислород современной земной атмосферы является побочным продуктом процесса фотосинтеза зеленых растений, и его общее количество отражает баланс между его продукцией и процессами окисления и гниения различных веществ. В истории биосферы Земли наступило такое время, когда количество свободного кислорода достигло определенного уровня и оказалось сбалансированным таким образом, что количество выделяемого кислорода стало равным количеству поглощаемого.

Азот. Круговорот азота в биосфере носит весьма своеобразный и замедленный характер (рис. 12). Фиксация азота в живом веществе нашей планеты осуществляется ограниченным количеством живых существ. Только некоторые микроорганизмы почв и поверхности Мирового океана способны расщеплять молекулярный азот (N_2) и использовать его атомы для построения аминогрупп ($-NH_2$) белков и других органических соединений живого вещества. Атмосферный азот поглощается при жизнедеятельности азотфиксирующими бактериями и некоторыми водорослями. Они синтезируют нитраты, которые становятся доступными для

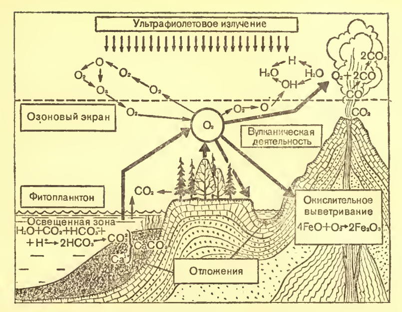


Рис. 11. Круговорот кислорода в биосфере. Кислород выступает в различных формах и входит во множество различных природных соедиеннй — воду и различные иеорганические и оргаиические вещества (по *П. Клауду* и *А. Джибору*)

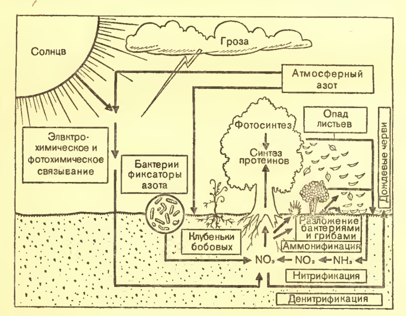


Рис. 12. Круговорот азота в биосфере (по *П. Дювиньо* и *М. Тангу*)

использования другими растениями биосферы. Биологическое связывание азота осуществляется некоторыми бактериями в симбиозе с высшими растениями в почвах. Азот фиксируют также некоторые микроорганизмы морского планктона, однако в меньшем количестве, чем почвенные микроорганизмы суши.

Растения и животные после своей гибели возвращают азот в почву, откуда он поступает в состав новых поколений растений и животных. Наряду с этим определенная часть азота в виде молекул возвращается в атмосферу.

В почвах происходит процесс *нитрификации*, который состоит из цепи реакций, когда при участии микроорганизмов происходит окисление иона аммония (NH_4^{1+}) до нитрита (NO_2^{1-}) или нитрита до нитрата (NO_3^{1-}). Восстановление нитритов и нитратов до газообразных соединений молекулярного азота (N_2) или окиси азота (N_2O) составляет сущность процесса *денитрификации*. В малых количествах атмосферный азот связывается с кислородом в процессе грозовых разрядов в атмосфере, а затем с дождями выпадает на поверхность почв.

Сера является важным составным элементом живого вещества. Бо́льшая часть ее в живых организмах находится в виде органических соединений. Кроме того, сера входит в состав некоторых биологически активных веществ: витаминов, а также ряда веществ, выступающих в качестве катализаторов окислительно-восстановительных процессов в организмах и активизирующих некоторые ферменты.

Сера представляет собой исключительно активный химический элемент биосферы и мигрирует в разных валентных состояниях в зависимости от окислительно-восстановительных условий среды. Среднее содержание серы в земной коре оценивается 0,047%. В природе этот элемент образует свыше 420 минералов.

В изверженных породах сера находится преимущественно в виде сульфидных минералов: пирита (FeS_2), пирронита (F_7S_8), халькопирита ($FeCuS_2$). В осадочных породах содержится в глинах в виде гипсов ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), в ископаемых углях в виде примесей серного колчедана и, реже, в виде сульфатов. Сера в почвах находится преимущественно в форме сульфатов, в нефти встречаются ее органические соединения.

В связи с окислением сульфидных минералов в процессе выветривания сера в виде иона SO_4^{2-} переносится природными водами в Мировой океан, где этот анион занимает второе место по распространению после хлора (Cl^{1-}). Сера поглощается морскими организмами, которые богаче ее неорганическими соединениями, чем пресноводные и наземные (рис. 13).

В некоторых морских организмах сера достигает высоких концентраций. Так, пищеварительные железы ряда моллюсков, обитающих в северных морях, выделяют жидкость, содержащую до 4% серной кислоты. Много серы входит в состав корненожек, некоторые из которых состоят преимущественно из сернокислого бария ($BaSO_4$). В морских водоемах в областях, лишенных сво-

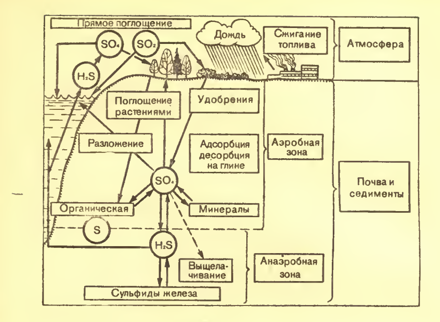


Рис. 13. Круговорот серы в биосфере

бодного кислорода (в анаэробных условиях), размножаются сульфат-редуцирующие бактерии. Они восстанавливают сульфаты морской воды до сероводорода. Возникший таким образом сероводород диффундирует в верхние горизонты бассейна, где подвергается действию растворенного кислорода, который окисляет его как непосредственно, так и с участием аэробных сернистых бактерий. Некоторые виды бактерий окисляют сероводород до освобождения элементарной серы, которая концентрируется в их телах. После гибели бактерии привносят серу на дно, создавая иногда скопления самородной серы биохимического происхождения.

На суше, после отмирания растений, сера возвращается в почву и захватывается некоторыми микроорганизмами. Некоторые из них восстанавливают органическую серу до H_2S и до минеральной серы. Другие бактерии окисляют эти продукты разложения до сульфатов. Сульфаты, растворяющиеся в почвенных водах, поглощаются корнями растений, и таким образом осуществляется продолжение круговорота серы.

Фосфор. Соединения фосфора играют важную роль в жизни организмов. Хотя фосфор и не входит в состав белка, но без него невозможен белковый синтез. Водоросли и наземные растения содержат 0,01—0,1% фосфора, животные от 0,1% до нескольких процентов. В организмах фосфор входит в состав орто- и пирофосфорных кислот, а также многочисленных органических со-

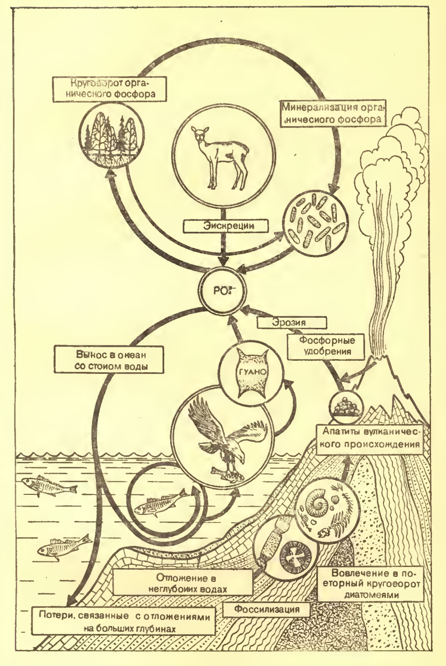


Рис. 14. Круговорот фосфора в биосфере (по *П. Дювиньо* и *М. Тангу*)

единений. Нуклеиновые кислоты, содержащие фосфор, участвуют в процессах передачи наследственности.

Круговорот фосфора в биосфере связан с процессами обмена веществ в растениях и животных. Однако в отличие от других биофильных элементов фосфор в процессе миграции не образует газовой фазы. Кроме того, главная масса фосфора связана с минеральной частью литосферы, небольшая часть мигрирует в составе природных вод и совершенно не участвует в атмосферных процессах. Общий круговорот фосфора (рис. 14) состоит как бы из двух частей — морской и наземной.

В горных породах фосфор сосредоточен главным образом в апатитах (в настоящее время известно свыше 190 минералов фосфора). В процессе выветривания и денудации суши он переносится природными водами в Мировой океан. В соленых морских водах фосфор переходит в состав фитопланктона, который служит пищей другим организмам моря, с последующим накоплением в тканях морских животных, в частности рыб. Часть соединений фосфора мигрирует в пределах небольших глубин, где он потребляется организмами, другая часть теряется на больших глубинах. Отмершие остатки организмов приводят к накоплению фосфора на разных глубинах. Частичный возврат фосфатов на сушу связан с поднятиями земной коры выше уровня моря. Определенное количество фосфора переносится на сушу морскими птицами и благодаря рыболовству. Птицы отлагают фосфор на отдельных островах и побережьях в виде гуано.

Из пород и почв континентов фосфор извлекается в растворенном виде наземными растениями и перерабатывается ими в фосфорсодержащие органические вещества. В организм животных фосфор попадает с растительной пищей и подвергается дальнейшим превращениям. В почву химически связанный фосфор попадает с остатками растений и животных, и в дальнейшем происходит повторение цикла.

Глава IV

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ В МИРОВОМ ОКЕАНЕ

Фауна океана — наиболее верный и точный свидетель всех изменений орографии и физико-химического режима океана за время существования.

Л. А. Зенкевич

Океан был первой средой обитания живых организмов. Его образование относится к самым ранним эпохам существования нашей планеты. Среда океана характеризуется специфическими свойствами, благоприятными для развития жизни. В нем в разной пропорции растворены все химические элементы таблицы Менделеева, служащие для построения тела морских животных и растений. В океане вода находится в постоянном движении, при этом особую роль играют морские течения. Помимо горизонтальной циркуляции, происходит и вертикальная — подъем вод к поверхности в одних районах и опускание поверхностных вод на глубину — в других. Эти движения связывают воедино воды Мирового океана, что и определяет единство природной среды гидросферы.

Мировой океан имеет огромную поверхность (361 млн. км^2) и обладает значительным объемом воды (1,37 млрд. км^3), что составляет 94% объема всей гидросферы Земли. В водах океана растворено $48 \cdot 10^{15}$ т солей. Жизненная среда океана непрерывна, и в нем отсутствуют границы, препятствующие расселению живых организмов. Именно своеобразие физико-химических особенностей Мирового океана и создает благоприятные условия для образования и развития разнообразных форм организмов. Океан с давних времен геологической истории был колыбелью жизни. Жизнь на суше в общем оказалась вторичным процессом. Древнейшие микроископаемые, найденные в докембрийских отложениях, относятся к водным формам прокариотов — планктонным организмам. Живой мир океана представляет собой целостную биологическую систему, возникшую и развивающуюся на основе определенных закономерностей структуры, связей со средой и исторического развития. За время своего существования в океане животные проделали долгий путь усложнения и усовершенствования форм и функций организмов. Эволюция основных классов и типов животных протекала в водной среде, что наложило свой отпечаток на современный облик всего животного мира (рис. 15). Всего 60 классов животных остались в области своего зарожде-

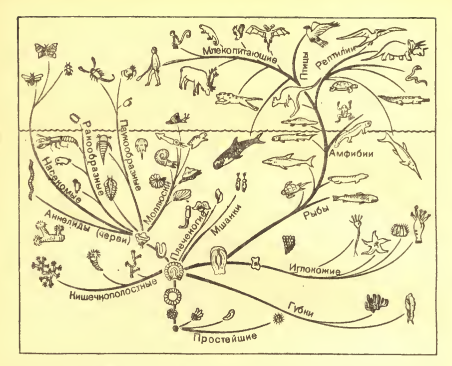


Рис. 15. Распределение основных классов животных по средам обитания. Животные, помещенные ниже волнистой линии, обитают в море, выше ее — относятся к сухопутным (по *Гейнцу* и *Штермеру*, с изменениями)

ния — обитателями моря. Выход живых организмов из океана на сушу носил избирательный характер. Если не считать предков позвоночных животных, то только 6 классов животного царства, принадлежащих к 3 типам, оказались способными к жизни на суше.

В настоящее время в океане насчитывается более 160 000 видов животных и около 10 000 видов растений. Среди животных около 16 000 видов рыб, 80 000 видов моллюсков, более 20 000 видов ракообразных, около 15 000 простейших (в основном радиолярии и фораминиферы), около 9000 кишечнополостных и др. Из позвоночных животных, кроме рыб, в океане обитают черепахи, змеи, а также млекопитающие (китообразные, ластоногие) — более 100 видов.

Среди растений в Мировом океане преобладают водоросли. Зеленых водорослей насчитывается более 5000 видов, диатомовых — около 5000 видов, красных — 2500, бурых и сине-зеленых — около 2000 видов. Также с океаном связана жизнь около 240 видов водоплавающих птиц (пингвины, альбатросы, чайки и др.).

Морские организмы весьма разнообразны, особенно по своим

размерам. Среди растений мы встречаем одноклеточные группы, невидимые невооруженным глазом, и морские водоросли длиной десятки метров. То же самое наблюдается и среди животных. Все разнообразие органической жизни в океане можно подразделить на три основные экологические группы: *планктон, нектон* и *бентос*. У морских организмов существуют две главные области обитания: морское дно *(бентическая зона)* и толща воды над ним. Мелководная часть океана, которая располагается до глубин 200 м, называется *неритической зоной*.

Планктон (от греч. «парящий») представляет большую группу мелких микроскопических организмов, которые парят в водной толще и не могут передвигаться против морских течений. Эти организмы в процессе своей жизнедеятельности решают жизненно важную задачу — задачу плавучести. При этом, чтобы не утонуть, они вынуждены приспосабливаться двумя способами: увеличивать силу трения или уменьшать массу своего тела. Для увеличения силы трения, замедляющей погружение, организмы уменьшают свои размеры. Поэтому, например, фитопланктон представлен в основном мелкими формами. Другой способ сохранения плавучести заключается в увеличении площади поверхности тела за счет уплощения формы (дисковидные диатомеи) или при помощи выростов и отростков (шипы у ракообразных, иглы у радиолярий, щетинки у некоторых видов диатомей). Многие планктонные организмы достигают экономии в массе путем увеличения содержания воды (в теле медуз оно превышает 95% массы организма), а также за счет уменьшения массы скелета или панциря (диатомеи, моллюски).

Первичный планктон состоял из бактерий и одноклеточных сине-зеленых водорослей. В настоящее время планктон состоит из автотрофных и гетеротрофных микроорганизмов. Гетеротрофные бактерии существуют за счет сложных органических веществ, продуктов разложения отмирающих автотрофных организмов. По данным некоторых ученых, процесс, в результате которого бактерии создают собственное живое тело, характеризуется очень высокой эффективностью. Так, 30—40% неживой органической материи превращаются в протоплазму бактерий, а остальные 60—70% используются для производства энергии и в конечном счете попадают в минеральные осадки, снова оказываясь в распоряжении автотрофных растений. Бактерии, таким образом, замыкают круговорот определенной части материи в Мировом океане.

Как видно на рисунке 16, бактерии наиболее многочисленны в приповерхностном слое воды, т. е. там, где накапливаются продукты обмена и мелкие трупы организмов, живущих у поверхности. На больших глубинах содержание органических веществ снижается, поэтому и резко уменьшается количество бактерий. У дна снова увеличивается содержание органических веществ, и там накапливаются продукты жизнедеятельности бентоса и остатки пелагических организмов, что соответственно приводит к резкому возрастанию количества бактерий.

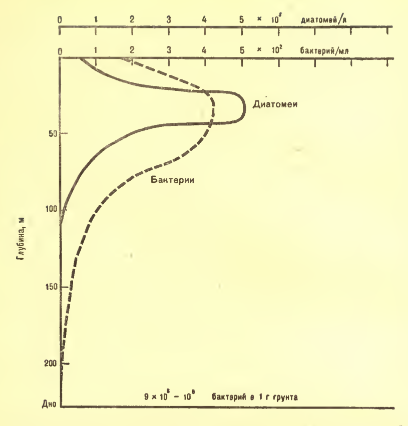


Рис. 16. Вертикальное распределение бактерий и диатомовых водорослей в море

Среди планктонных организмов выделяют фитопланктон и зоопланктон. В фитопланктоне преобладают две группы водорослей — диатомовые и перидиниевые (динофлягелляты). Фитопланктон расположен преимущественно в приповерхностных слоях водной толщи океана, ибо для его существования необходим солнечный свет. Наиболее интенсивно процесс фотосинтеза в растительном планктоне идет на тех глубинах, где освещенность составляет не менее $^1/_3$ от освещенности поверхности моря. При уменьшении освещенности с глубиной резко падает интенсивность процесса фотосинтеза (рис. 17). Поэтому летом в морях умеренных широт максимальное количество фитопланктона приходится на глубины 25—30 м. В районах океана, где его воды особенно прозрачны, фитопланктон может обитать на глубинах до 150 м.

Животный мир планктона — зоопланктон — отличается еще большим разнообразием видов и форм организмов. Среди зоопланктона много одноклеточных организмов, рачков, червей, ме-

дуз и других животных. Если фитопланктон свободно «парит» в водной толще, то большинство видов зоопланктона может передвигаться собственными средствами на небольшие расстояния, но в основном все же переносится морскими течениями.

Между фитопланктоном и растительноядным зоопланктоном существует тесная связь. В частности, эту связь помогают устанавливать организмы зоопланктона, среди которых особенно распространены веслоногие рачки (копеподы) и океанические креветки (эвфаузииды) с размерами от 1 до 7 мм. Последние, как и веслоногие рачки, встречаются по всему Мировому океану, но особенно многочисленны они в холодных водах Антарктики. Значительную часть эвфаузиид называют норвежским словом «криль». Иногда китобои в океане наблюдали огромные розовые полосы длиной до 500 м и шириной до 30 м, образованные миллионами этих организмов. Криль является основой рациона огромных усатых китов. Подсчитано, что взрослый синий кит во время летнего сезона продолжительностью 150 дней съедает ежедневно по 0,8 т криля, что соответствует поглощению 120 т на каждого кита в течение лета.

Фитопланктон представлен преимущественно микроскопическими одноклеточными водорослями — диатомеями и динофлягеллятами. Сами флягелляты, в отличие от диатомей, способны

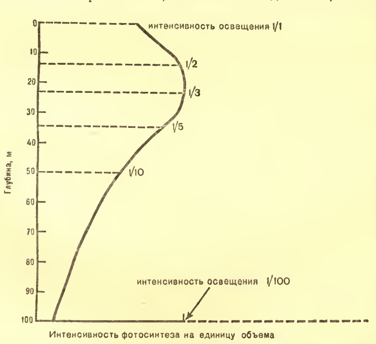


Рис. 17. Интенсивность фотосинтеза в зависимости от уменьшения освещенности с глубиной (по *Ж. П. Эрхарду* и *Ж. Сежену*)

передвигаться в воде с помощью двух выступающих жгутиков — флагелл.

Иногда планктон начинает стремнтельно размножаться, изменяя цвет воды. Весной в северной части Тихого океана «цветение» диатомовых водорослей приводит к тому, что вода становится слизнстой и приобретает «бурый цвет». Ее рыбаки иногда называют «вонючей водой». Название Красного моря связано с редким «цветением» микроскопических сине-зеленых водорослей, которые, отмирая, приобретают красновато-корнчневый цвет, придающий морской воде соответствующий оттенок.

Особенно интересны и загадочны так называемые «красные приливы», которые часто наблюдаются у западных берегов Флориды. Основной причиной этих приливов является быстрое размноженне динофлягеллят, когда их концентрация превышает 6 млн. особей на 1 л морской воды. Наиболее крупное «цветение» этих водорослей отмечалось у берегов Флориды в 1946—1947 гг. Установлено, что эти организмы выделяют яд и, кроме того, убивают рыбу чисто механически, забнвая лепестки жабр и лишая ее кислорода, который поглощают различные простейшие. По приближенным подсчетам, в этот период погибло около 500 млн. экземпляров рыб, большое количество дельфинов, морских черепах и других обитателей моря. Мощные «красные приливы» отмечались еще в 1954 и 1971 гг. Исследование этих явлений показало, что после сильных дождей большое количество питательных веществ смывается с побережий и одновременно приток пресных вод понижает соленость океана, а подъем глубинных вод выносит также к поверхности питательные вещества, которые стимулируют рост и размножение динофлягеллят. «Красные приливы» приводят к большим экономическим убыткам, так как пустеют чудесные пляжи Флориды, которые покрываются массой разлагающейся рыбы. Вода на пляжах превращается в зловонную жижу. Сама масса этих водорослей иногда начинает выделять неприятные газы, раздражающие у жителей побережья дыхательные пути и слизистую оболочку глаз.

Но иногда в некоторых районах океана именно «цветение» динофлягеллят привлекает туристов. Это явление называют «горящее море». В тропических районах Мирового океана известны несколько заливов и бухт, где природные условия позволяют этим одноклеточным водорослям размножаться постоянно и с такой скоростью, что вода от них светится всю ночь. Самый известный из этих «горящих заливов» расположен на юго-западном побережье острова Пуэрто-Рико. Вечером из ближайшей деревушки туристы отправляются в залив на лодках. Как только лодки входят в залив, туристы наблюдают уникальное явление: воды залива непрестанно светятся живым огнем. След лодки горит в ней холодным светом, а различные рыбы, точно кометы, оставляют за собой огненные хвосты. Мерцающие над головами туристов звезды и «горящее море» вызывают загадочно-удивительное и восхищающее впечатленне.

Следует отметить уникальный район Мирового океана, который известен как Саргассово море. В этом районе, кроме микроскопических одноклеточных водорослей, встречаются организмы, видимые невооруженным глазом. Это саргассы, относящиеся к бурым водорослям. Они получили свое название от матросов Х. Колумба, потому что наполненные воздухом пузыри, с помощью которых растения поддерживают свою плавучесть, напоминали морякам мелкий виноград, носящий на их родине название «саргацо». В этой части Атлантического океана находится примерно 7 млн. т саргассовых водорослей. Когда в 1492 г. Х. Колумб во время путешествия на каравелле «Санта-Мария» обнаружил в центре океана огромные скопления этих водорослей, он решил, что они оторваны бурями от берегов Вест-Индии и занесены в центральные области океана. Подобное представление можно найти еще и сейчас в работах по морской биологии, но исследования последних лет позволили установить у саргассовых водорослей все признаки роста, размножения и самостоятельной жизни. Как отмечает американский океанолог В. Кроми, возможно, их предки были прикреплены ко дну, но современные водоросли — уроженцы Саргассова моря — выработали способность вести плавучий образ жизни. Это море покрыто многочисленными жизнеспособными здоровыми растениями с новыми листьями и побегами. В водорослях обитают многие морские организмы, находящие приют в их ветвях (мелкие копеподы, крабы, улитки, черви, молодь рыб, морской клоп — водомерка и др.).

Саргассово море отличается еще одной удивительной особенностью: все пресноводные угри, населяющие реки и озера Европы и Восточной части Северной Америки, начинают свой жизненный путь в его центре на глубине более 2000 м. Сюда плывут взрослые угри со скоростью примерно 5—10 миль в сутки в свой последний путь, чтобы отложить икру и затем умереть. Тайны их размножения скрыты во мраке океанических глубин. Личинки молодых угрей имеют листообразную форму, полупрозрачные, что позволяет им из Саргассова моря дрейфовать вместе с водами Гольфстрима к берегам Северной Америки и Европы. Их дрейф происходит очень медленно, поскольку угри переносятся не в основном потоке Гольфстрима. Поэтому восточного побережья Северной Америки угри достигают в течение года, а берегов Европы — в течение почти трех лет.

Н е к т о н (от греч. «плавающий») образует группа активно плавающих в воде рыб, млекопитающих, моллюсков. Представители этих животных (различные рыбы, китообразные, тюлени, морские черепахи, морские змеи, кальмары, осьминоги) активно плавают и перемещаются на большие расстояния. Среди нектонных животных крупные киты являются единственными представителями, численность которых установлена с минимальной ошибкой. Так, численность антарктических китов (финвал, синий кит, горбач, кашалот и др.) на 1972 г. составляла около 875 тыс. Численность мелких дельфинов в океане оценивается в 425 млн. го-

лов. Ориентировочная численность ластоногих в морях Северной Атлантики и Северного Ледовитого океана составляет 4,7—6,0 млн., в северной части Тихого океана 3,9—4,5 млн. и в умеренных водах южного полушария достигает 7—10 млн.

Бентос (от греч. «глубинный») состоит из организмов, обитающих на морском дне. При этом они могут быть прикрепленными, сидячими (кораллы, водоросли, губки, мшанки, асцидии), роющими (кольчатые черви, моллюски), ползающими (ракообразные, иглокожие) или свободно плавающими у самого дна (брюхоногие и другие моллюски, камбала, скаты).

Кроме основных экологических групп морских организмов, в последние годы стали выделять сообщества, связанные с поверхностной пленкой воды.

Это плейстон — совокупность организмов, плавающих на поверхности воды (физалия, или португальский кораблик); нейстон — организмы, прикрепляющиеся к поверхностной пленке воды сверху и снизу (одноклеточные животные, улитки-прудовики); гипонейстон — разнообразные сообщества, живущие непосредственно под поверхностью воды (личинки кефали, хамсы, веслоногие рачки, саргассовый кораблик и др.).

Все рассмотренные экологические группы морских организмов участвуют в круговороте жизни в Мировом океане (рис. 18). Система взаимодействий между организмами и самой водной средой и образует морскую экосистему, важной особенностью которой является перенос энергии и вещества. Солнечная энергия, поглощаемая растениями, передается от них животным и микроорганизмам в виде потенциальной энергии по основной пищевой цепи. Эти группы потребителей обмениваются с растениями углекислым газом и минеральными питательными веществами.

Весь Мировой океан представляет собой единую экологическую систему. На рисунке 19 можно видеть, что солнечную энергию в поверхностных зонах океана используют организмы фитопланктона, который служит пищей для растительноядного зоопланктона. Последний является пищей для планктоноядных рыб, населяющих поверхностные слои водной толщи. Следующий уровень потребления составляют хищные рыбы, питающиеся другими рыбами. Глубоководная фауна состоит из позвоночных животных, питающихся илом, и из рыб-хищников, обладающих светящимися органами. В экосистеме океана в роли организмов-деструкторов выступают бактерии, которые могут обитать в открытых водах на различных глубинах, но основная их масса все же располагается на дне, куда поступают остатки погибших пелагических организмов. Биологическая составляющая экосистемы океана включает как живое, так и отмершее вещество. Биогенные остатки (органический детрит) заключают в себе огромный запас пищи. Некоторые животные организмы глубоководной зоны питаются исключительно отмершим органическим веществом, а для других он составляет довольно значительную часть рациона в дополнение к живому планктону. Но все же основными

Солнечная энергия

Минеральные соли

Автотрофные бактерии

Фитопланктон

Растительноядный зоопланктон

Хищный зоопланктон

Рыба

Минерализация гетеротрофными бактериями

Органический детрит
трупы фекалии
Псевдофекалии-слизь

Детрит, поедаемый зообентосом

Рис. 18. Круговорот жизни в океане (по *Ж. П. Эрхарду* и *Ж. Сежену*)

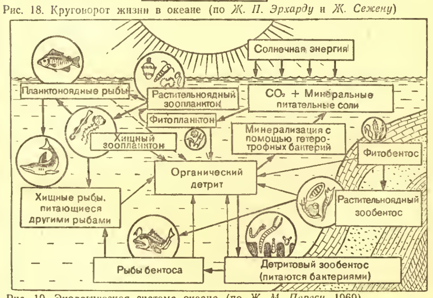


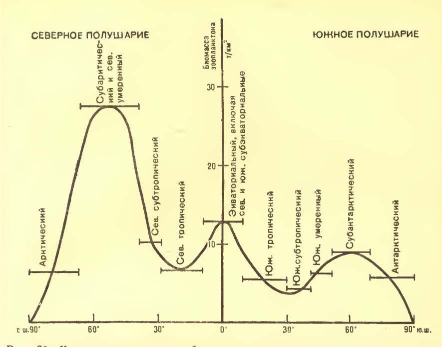
Рис. 19. Экологическая система океана (по *Ж. М. Пересу*, 1969)

потребителями органического детрита являются обитатели морского дна.

Биомасса как совокупность организмов может быть установлена для периода наблюдений и измерений. Она является результатом определенной продуктивности природной системы. Под биологической продуктивностью в настоящее время понимается воспроизведение органического вещества всем сообществом экосистемы в течение определенного периода времени (год). Первичная продукция связана с зелеными растениями, а вторичная — предназначена для биомассы, продуцируемой растительноядными или разлагающими организмами. В. И. Вернадский еще в 1923 г. отмечал, что «главным вопросом, который стоит перед географией живого вещества, является определение количества живого вещества в океане и далее — вопрос о его распределении». К настоящему времени установлены масса живого вещества, величина первичной продуктивности и другие биологические показатели распределения жизни в Мировом океане.

В океане наблюдается как горизонтальная, так и вертикальная зональность всех географических процессов и распределения живого вещества. Советскими учеными Б. Г. Богоровым и Д. В. Богдановым составлены карты зональности природы океанов. Положения географических поясов в океане определяются количеством тепла, испарением, соленостью, господствующими ветрами, морскими течениями, а также биологическими и геохимическими особенностями водной среды. В северном полушарии на акватории океана выделяются арктический, субарктический, умеренный, субтропический, тропический, субэкваториальный и экваториальный пояса. Соответствующие пояса отмечены и в южном полушарии, для которого характерны примерно те же физико-географические черты.

Подсчитано, что общая биомасса живого вещества Мирового океана составляет около 30 млрд. т., а годовая продукция (в сырой массе) $4{,}3 \cdot 10^{11}$ т. Распределение биомассы в океане более равномерное, чем на материках. Как видно на рисунке 20, максимум биомассы в океане приходится на субарктический и северный умеренные пояса, которые дают $^2/_3$ мирового улова рыбы. Наиболее низкие значения биомассы отмечаются в тропических поясах северного и южного полушарий, где они совпадают с антициклоническими круговоротами вод в океане. Высокая биомасса (1—2 кг/м^2) характерна для районов умеренного пояса Северной Атлантики и северо-западной части Тихого океана. Высокие значения биомассы (до 10 кг/м^2) наблюдаются на коралловых рифах у берегов Новой Гвинеи, а биомасса рачков (криля) в поверхностных водах Антарктиды может достигать 10—15 кг/м^2. В Мировом океане также отмечаются высокие параметры биомассы и первичной продукции в зонах, где происходит подъем к поверхности более холодных глубинных вод, богатых кислородом и питательными веществами. Эти зоны почти в 6 раз продуктивнее открытых областей Мирового океана.



Рнс. 20. Крнвая распределення биомассы зоопланктона на еднннцу площади (т/км²) по географическим поясам в поверхностном слое (0—100 м) Мнрового океана (по *К. К. Маркову* и др.)

Таблнца 13

Распределенне биомассы и годовой продукцнн живого вещества в Атлантическом океане

Географический пояс	Площадь, 10^6 км²	Биомасса		Продукция		P/B
		10^9 т	10^3 т/км²	10^9 т	10^3 т/км²	
Арктнческнй	1,17	0,07	0,06	0,97	0,83	13,9
Субарктнческнй	1,54	0,52	0,34	4,45	2,89	8,6
Северный умеренный	7,98	2,23	0,28	18,83	2,36	8,4
Северный субтропическнй	7,96	1,02	0,13	10,44	1,31	10,2
Северный тропнческнй	22,83	0,67	0,03	26,83	1,18	40,1
Экваториальный, включая субэкваторнальный	7,25	0,24	0,03	12,22	1,69	50,9
Южный тропический	17,68	0,25	0,01	19,32	1,09	77,3
Южный субтропическнй	7,35	0,20	0,03	4,36	0,59	21,8
В целом	73,76	5,20	0,07	97,42	1,32	18,7

P/B — отношение годовой продукцнн к бномассе.

В таблице 13 представлены расчеты биомассы и годовой продукции для географических поясов Атлантического океана, полученные Т. С. Лукьяновой и И. А. Суетовой. Как и для всего Ми-

рового океана в целом, наиболее богатыми по биомассе являются субарктический и северный умеренный пояса. В субарктическом поясе биомассы на единицу площади в 11 раз больше, чем в тропическом и экваториальном поясах.

Таблица 14

Распределение живого вещества в Атлантическом, Индийском и Тихом океанах

Океан	Общая биомасса, 10^9 т	Первичная продукция, 10^3 т/км²	Биомасса фитопланктона, 10^6 т	Биомасса зоопланктона, т/км²	P/B
Атлантический	5,2	1,32	6,7	8,3	16,5
Индийский	1,46	1,36	6,1	7,5	50,3
Тихий	6,98	1,08	10,4	9,7	23,4

P/B — отношение годовой продукции к биомассе.

Интересна сравнительная характеристика распределения живого вещества в Атлантическом, Тихом и Индийском океанах. Как видно по данным таблицы 14, Атлантический океан имеет биомассу, немного уступающую по величине биомассе Тихого океана, но более чем в 3 раза превосходящую биомассу Индийского океана. Сравнение величин отношения годовой продукции к биомассе (P/B) показывает, что «производительность» живого вещества Индийского океана в 3 раза больше, чем Атлантического (для всего Мирового океана значение отношения P/B составляет 22,0). Наиболее продуктивной в Индийском океане является область действия муссонных ветров Аравийского моря и Бенгальского залива. Продуктивность этой зоны в 4 раза больше, чем в среднем для всего Мирового океана.

Различия в продуктивности водных экосистем в значительной мере определяются доступностью питательных веществ. Температура может даже иногда не оказывать воздействия на суммарную продуктивность морских местообитаний. Установлено, что в холодных водах умеренной зоны крупные водоросли создают на определенной площади морского местообитания такое же количество биомассы, как в Карибском море и Индийском океане. Так, в Новой Шотландии продуктивность только одного вида водорослей — ламинарии достигает 1500 г/см² в год, что вполне сопоставимо с продуктивностью лесов умеренной зоны. Морские водоросли в холодной воде достигают такой значительной плотности, что арктические моря столь же продуктивны, как и теплые тропические моря.

В Мировом океане четко отмечается вертикальная зональность распределения живых существ. В водной толще океана по ряду экологических факторов выделяют *неритическую, батиальную* (200—3000 м) и *абиссальную* (глубже 3000 м) зоны. Эта особенность вертикального распределения живого вещества хорошо

фиксируется в пространственном распространении планктона и бентоса.

Сообщества планктона наиболее обильно представлены в поверхностных слоях водной толщи. Так, диатомеи, как и другие представители фитопланктона, участвуя в процессах фотосинтеза, не совершают вертикальных миграций, почти все время находясь в поверхностном слое (0—50 м). На бо́льших глубинах начинают преобладать сообщества зоопланктона (медузы, гребневики, копеподы, сифонофоры, бокоплавы и др.), для которых характерны суточные вертикальные миграции. Это связано с питанием организмов, которые, поднимаясь ночью к поверхности, находят более обильную пищу, чем на глубине, где они находились в дневное время. Некоторые веслоногие рачки могут совершать миграции с глубины 200 м, а затем снова возвращаться назад. Скорость их подъема может достигать 30 м/ч, а скорость опускания до 50 м/ч. Основная масса зоопланктона живет в слое 0—500 м (65%). Остальное количество (35%) приходится на глубины 500—4000 м. На больших глубинах обитает весьма обедненная фауна, состоящая из раков-амфипод и веслоногих рачков.

Аналогичные особенности вертикальной зональности характерны и для бентоса. По данным Л. А. Зенкевича, биомасса бентоса на шельфе в среднем составляет 200 г/м², на материковом склоне биомасса бентоса в 10 раз меньше, а на глубинах свыше 3000 м — биомасса в тысячу раз, а в центральных районах абиссали океана — в десятки тысяч раз меньше, чем на шельфе.

Известно, что обилие рыб, китов и других представителей нектона зависит от количества планктона и бентоса, которые служат им пищей. Подсчитано, что в Мировом океане районы с высокой продуктивностью фитопланктона составляют около 10% акватории океана, зоопланктона около 20%, пелагического нектона (рыбы) — около 25%, зообентоса около 10%. Акватории с высокими концентрациями рыб занимают около 12% площади Мирового океана. Все это показывает, что биологическая продуктивность океана чрезвычайно изменчива в различных географических районах.

Неравномерность распространения живых организмов в морской среде проявляется также в деталях. Еще недавно считали, что поверхностная пленка водной толщи океана непригодна для жизни. Многие факторы, а именно смертельные ультрафиолетовые лучи, частые волнения и другие неблагоприятные причины, делали эту зону необитаемой. Однако неслучайно в античных мифах отмечалось, что Афродита — богиня красоты и плодородия — возникла именно из морской пены...

Исследования советских микробиологов в последние годы показали, что поверхностная пленка Мирового океана населена огромным количеством разнообразных морских организмов.

Почти все неблагоприятные факторы обитания живых существ в верхней пленке океана, которые традиционно приводились прежними исследователями, оказались правильными. Не

учитывалась лишь возможность широкого приспособления живых существ к данной среде. В этом случае можно привести такие примеры: в 1 м^3 пены воды Каспийского моря число колоний бактерий составляет 14 000, а в том же объеме морской воды только 440. В Азовском море в слое воды 0—5 см было насчитано 18 600 личинок крабов в 1 м^3 воды, в слое 25—45 см в том же объеме — только 30.

Приповерхностное положение морских организмов нейстона обеспечивается их высокой плавучестью, чему способствуют газовые и жировые включения на поверхности и внутри тела организмов. Жировые включения выполняют роль поплавка, которые помогают икринке удерживаться у поверхности воды, а также служат высококалорийной пищей. Икринки таких рыб, как ставрида, камбала, кефаль, имеют по одной, а икринки пеламиды — до 10 жировых капель. И наконец, жировые включения являются как бы линзами, которые регулируют приток солнечных лучей, а значит, и тепла, необходимого для данного эмбриона. У многих организмов морской поверхности отмечено наличие газовых включений. Например, слоевища гипонейстоновых видов саргассовых водорослей усеяны множеством шаровидных воздушных пузырьков, которые поддерживают растения и их многочисленных животных-обрастателей под пленкой поверхностного натяжения.

Наиболее характерными представителями нейстона Черного моря являются: личинки кефали, хамсы, морской собачки, камбалы, молодой краб-плавунец, веслоногие рачки, а для тропических морей — физалия, или португальский кораблик, игла-рыба и др. Многие виды морских обитателей (устрицы, мидии, крабы, креветки, омары, лангусты, треска, бычки) представлены в нейстоне только яйцами, личинками и молодью. Все это показывает большую роль нейстона в Мировом океане для размножения многих видов морских организмов. Однако в последние годы на жизнь нейстона начинают сильно влиять неблагоприятные антропогенные факторы, прежде всего загрязнение вод океана нефтепродуктами и ядохимикатами. Дальнейшее изучение нейстона как важного звена экосистемы Мирового океана поможет найти более эффективные пути искусственного выращивания некоторых промысловых морских рыб.

Прибрежная фауна и флора Мирового океана исключительно богата живыми организмами, поскольку здесь весьма разнообразны и в целом благоприятны физико-географические условия: изменчива соленость, характерны волнения, прибой, приливо-отливные явления, различен характер грунтов и др. Здесь обильны представители бентоса: одни из них неподвижные (губки, кораллы, мшанки), другие — подвижные (крабы, морские ежи, морские звезды, двустворчатые моллюски, черви). Эти организмы питаются органическими веществами, падающими на дно или привнесенными по материковому склону. Особенно на экологию бентосных организмов влияет характер субстрата, на котором они обитают.

Так, на *скальном субстрате* (песчаники, известняки) встречаются различные водоросли: сине-зеленые, бурые, красные и другие, которые часто служат укрытием для многочисленных морских обитателей. Здесь преобладают растительноядные животные (моллюски, крабы, креветки, рыбы). Обитатели скального субстрата прочно прикрепляются к его поверхности, медленно передвигаются по ней или уходят в глубь субстрата (сверлильщики). К сидячим (неподвижным) формам бентоса относится прежде всего большинство водорослей, а также некоторые животные. Другие организмы свободно перемещаются по субстрату (усоногие раки, двустворчатые моллюски). Внутри твердых субстратов обитает небольшая группа сверлильщиков, в основном двустворчатые моллюски, которые могут превратить известняки, глинистые сланцы, погибший коралловый риф в рыхлую массу. Рыбы скалистых берегов в ходе эволюции выработали многие своеобразные приспособления, например имеют защитную окраску. У некоторых бычков брюшные плавники превратились в присоски, с помощью которых они прикрепляются к скалам, чтобы их не смыло во время шторма в море.

На *песчаном грунте* обитают намного более бедные бентосные сообщества. Здесь обычны крабы, улитки, способные быстро зарываться в грунт. Многие роющие моллюски могут с поразительной быстротой передвигаться в песке и иле. Буровым инструментом им служит мясистая нога с заостренным концом, которую они вводят между частицами песка. С притоком крови этот конец раздувается и превращается в грибовидный пузырь, с помощью которого моллюск закрепляется в грунте. Затем происходит сокращение мышц, и тело животного подтягивается к ноге. Некоторые виды червей разбрасывают песок по сторонам своей заостренной головой. На песчаном субстрате часто встречаются морские звезды, голотурии, или морские огурцы, морские ежи и др.

На *илистом субстрате* условия существования для организмов несколько иные. Осадки богаты органическими частицами и сам субстрат менее подвижен, чем песок. Поэтому морские организмы извлекают питательные вещества из этих осадков, пропуская их через кишечный тракт (илоеды). Типичными представителями являются моллюски и черви. Каждый червь ежедневно заглатывает несколько сотен граммов осадка. В некоторых местах морского дна с высокой плотностью заселения организмами почти весь поверхностный слой может быть переработан за короткий промежуток времени. В закрытых бухтах на илистых субстратах произрастает морская трава — зостера, достигающая в длину нескольких метров. Она дает кров и пищу многим морским обитателям (моллюскам, морским зайцам, игле-рыбе).

Для прибрежной зоны тропических морей наиболее характерными и своеобразными биоценозами являются *коралловые рифы.* Это настоящие пышные оазисы жизни на фоне сравнительно бедной океанической пустыни. По выражению Ф. Ф. Беллинсгаузена, «коралловые рифы, воздвигнутые малыми животными, пред-

ставляют нам огромнейшие на земном шаре здания, ум человеческий изумляющие». Различные процессы рифообразования классически представлены в развитии атоллов (от мальдивского «атолу») — низменных коралловых островов кольцеобразной формы, окаймляющих мелководные лагуны, основанием для которых обычно служат вершины подводных вулканов. Их происхождение впервые объяснил Ч. Дарвин, теория которого была основана на идее последовательного перехода от окаймляющего рифа через барьерный риф к атоллам. Окаймляющий риф растет непосредственно у берега, а барьерный — отделен от суши мелководной лагуной.

Наиболее крупным сооружением такого рода является Большой Барьерный риф, который протягивается вдоль северо-восточного побережья Австралии. Общая длина его достигает 2000 км при ширине отделяющей лагуны от 30 до 250 км. Большинство атоллов в океане имеют размеры в диаметре до 30 км, но крупные атоллы иногда достигают в диаметре величины 100 км и более.

Коралловые рифы — это грандиозные постройки в океане, возникающие при сочетании целого ряда сложных факторов, среди которых самым главным являются сами кораллы. Основными рифостроителями служат мадрепоровые шестилучевые кораллы, у которых отдельной особью является полип. Каждый полип живет внутри крошечной известковой чашечки, которую он сам строит, извлекая из морской воды нужные химические вещества. Большинство мадрепоровых кораллов образуют целые колонии полипов, в которые могут входить тысячи или даже миллионы особей. Большинство полипов имеют яркую окраску, но подлинную красоту коралловых рифов можно наблюдать лишь в ночное время, когда полипы появляются из чашечек, расцвечивая риф оранжевыми, зелеными, красными тонами. Белым коралл становится лишь тогда, когда все составляющие его полипы погибают.

Рифообразующие кораллы весьма требовательны к жизненным условиям; они не переносят температуру ниже +18°C и выше +35°C, нуждаются в нормальной солености, причем приток пресных вод для них губителен. Морские воды, где они обитают, должны быть прозрачными и богатыми кислородом. Вследствие взаимодействия полипов с различными одноклеточными водорослями кораллы нуждаются в хорошей освещенности и поэтому обитают, как правило, на глубинах не более 50 м. Эти экологические условия довольно четко определяют ареал распространения рифообразующих кораллов, основная масса которых и наибольшее видовое разнообразие приурочены к районам Мирового океана между Северным и Южными тропиками.

Существуют сотни различных видов кораллов — крошечных живых организмов, относящихся к кишечнополостным (куда также входят медузы, актинии и гидроиды). У всех кораллов скелет состоит из углекислого кальция. Из скелетов отмерших кораллов на дне прибрежных вод постепенно образуются огромные корал-

ловые рифы. Существует тесная связь между кораллами и некоторыми одноклеточными водорослями (симбиоз). В процессе фотосинтеза водоросли выделяют свободный кислород, необходимый кораллам для дыхания, а кораллы взамен выделяют углекислый газ, весьма нужный водорослям для фотосинтеза. Кроме того, кораллы снабжают водоросли различными другими питательными веществами. Подсчитано, что скорость наращивания рифа может достигать 10 мм в год. Рифы населены многочисленными организмами: рыбами, ракообразными, фораминиферами и др. Тропический коралловый риф представляет собой мелководную среду обитания организмов с самым максимальным для моря количеством видов. Так, на Большом Барьерном рифе у берегов Австралии проживает более 3000 видов живых существ. Именно сообщества морских организмов создают рифы, постепенно наращивая их вверх, по мере опускания морского дна.

Особый интерес представляют так называемые благородные кораллы — розовые, золотистые, черные, которые в отличие от мелководных видов кораллов, образующих рифы и живущих в симбиозе с водорослями, полностью самостоятельны и в личиночной стадии избегают света. Морской биолог из Гавайского университета Р. Григг встречал сообщества черных кораллов на глубинах от 30 до 105 м, розовых и золотистых — даже на глубинах 340—500 м. Установлено, что продолжительность жизни благородных кораллов составляет 70 лет, при этом скорость роста черной разновидности полипов достигает 6 см в год. Следует также отметить, что в скелете черной разновидности полипов зафиксированы годичные кольца. Некоторые виды золотистых кораллов, обитающих на значительных глубинах, обладают свойством люминесценции, что наблюдалось у берегов Гавайских островов.

В последние годы на коралловых рифах в изобилии появились опасные хищники — морская звезда «терновый венец», которая приносит опустошение. Звезда, накрыв своим желудком кораллы, поедает их, оставляя только хрупкий известковый скелет. Подсчитано, что одна морская звезда способна за день уничтожить около 100—120 см² поверхности рифа. Причина увеличения количества звезд кроется в том, что слишком много выловили естественного врага «тернового венца» — гигантского моллюска тритона. Поэтому сейчас срочно разрабатывается научная программа биологической регуляции по сохранению коралловых рифов путем искусственного выращивания данного моллюска.

В. И. Вернадский писал: «...Весь океан проникнут живым веществом, но в нем можно отметить отдельные сгущения живого вещества: планктон, «саргассовые моря», на шельфах — «подводные леса и поля», где сконцентрированы огромные скопления бентоса, а также коралловые рифы». Выше подробно описаны эти сгущения жизни в Мировом океане. Однако до недавнего времени дно океана на больших глубинах считали «пустынными местообитаниями», где скудность живого мира обусловлена крайней ограниченностью запасов пищи». И вот сравнительно недавно

учеными были сделаны уникальные открытия: в глубинах океана найдены своеобразные «сгущения жизни».

В 1977 г. американские геологи на подводном аппарате «Алвин» в рифтовой зоне подводного хребта Тихого океана, в 320 км к северо-востоку от Галапагосских островов, на глубине 2600 м обнаружили «оазисы жизни» у выходов гидротермальных источников. Здесь в полной темноте, у горячих источников, при обилии сероводорода были встречены: гигантские (до 1 м длиной), живущие в трубках черви, крупные белые двустворчатые моллюски, а также креветки, крабы и отдельные экземпляры рыб. Такая плотность живых организмов в весьма неблагоприятных условиях, где невозможен фотосинтез, господствует сероводородное заражение, обильны содержания ядовитых металлов, была просто неожиданной и загадочной. Проведенные исследования показали, что высокая температура не может объяснить особенностей развития уникальной экосистемы гидротермальных источников. Анализ проб воды, отобранных в этих местах рифтовых зон, показал значительную концентрацию сероводорода и наличие в ней бактерий, среди которых имеются автотрофные, использующие для своей жизнедеятельности сероводород. Именно эти серные бактерии в данной морской экосистеме играют роль зеленых растений, используя вместо солнечного света сероводород и другие соединения серы. Они, как и зеленые растения, являются первичными продуцентами.

На рисунке 21 показаны особенности экосистемы глубоководных гидротермальных источников в сравнении с наземными биоценозами. При фотосинтезе свет поглощается хлоропластами растений и приводит в действие последовательность биохимических реакций, называемую циклом Кальвина. В этом процессе фиксируется углерод: образуются углеводы, жиры и аминокислоты, которые затем вступают в пищевую цепь, переходя от растений к растительноядным животным, а от них к хищникам. При хемосинтезе энергия извлекается бактериями из сероводорода. В районах гидротермальных источников выделяющийся сероводород поглощается свободноживущими бактериями, а также животными (погонофорами); в них сероводород окисляется и дает энергию для цикла Кальвина. Конечные продукты включаются в пищевую цепь, переходя прямо от хищников низшего уровня к хищникам более высоких уровней.

Серные бактерии, окисляющие сульфид, составляют первое звено пищевой цепи в экосистеме гидротермальных источников, обеспечивая пищей различные виды животных. Следующим звеном в этой экосистеме являются своеобразные животные — погонофоры, среди которых особенно обильно представлена *Riftia pachyptila*. Они живут в защитной трубке, прикрепляясь к ней кольцом мышц. Внутри погоноформ обитают хемосинтезирующие бактерии, которые, перерабатывая сероводород, поставляют животному необходимые питательные вещества. Здесь же в симбиозе с серными бактериями обитают крупный белый двустворчатый

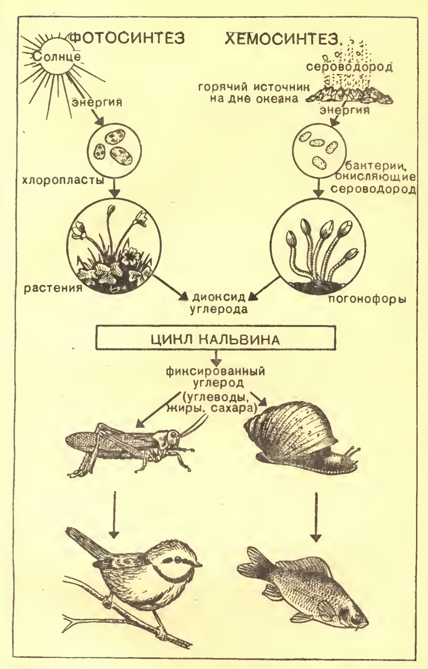


Рис. 21. Особенности экосистемы глубоководных гидротермальных источников в рифтовых зонах океана в сравнении с наземными биоценозами (по *Д. Чилдрессу* и др.)

моллюск *Calyptogena magnifica* и родственник мидий *Bathymodiolus termophilus*. У моллюска серные бактерии живут в жабрах, где из потока воды извлекают кислород и диоксид углерода, причем окисляют сульфид и поставляют хозяину необходимые для существования вещества. Некоторые малочисленные виды организмов, например крабы, не вступают в симбиоз с серными бактериями, но при этом они иногда питаются погонофорами. Отдельные виды крабов *(Bythograca thermydron)* приспособились здесь жить путем окисления сульфида до нетоксичного соединения — тиосульфата.

В открытом океане экологическая обстановка значительно однообразнее, чем в прибрежной зоне. Здесь господствуют организмы, проводящие свою жизнь на плаву. Пища в открытом море менее сконцентрирована, поэтому организмы совершают широкие миграции. Очень разнообразна группа активно плавающих рыб, китообразных, тюленей, кальмаров, осьминогов, морских змей и других обитателей. Среди организмов нектона наиболее распространено плавание с помощью хвоста (рыбы, киты, дельфины), далее за счет изгиба тела (морские змеи). Осуществляется также плавание реактивным способом, когда вода с силой выталкивается из мантийной полости (кальмары, осьминоги, каракатицы, крупные медузы). В открытом море обитают многочисленные хищные рыбы, среди которых особенно активны акулы и тунцы. Акулы иногда достигают крупных размеров: длина ее тела может доходить до 18 м (китовая акула), но в Мексиканском заливе обнаружена колючая акула, имеющая в длину всего 15 см. Китовые акулы питаются в основном мелкими животными (кальмары, ракообразные), которых они собирают, процеживая воду через сито своих жаберных тычинок.

Акулы обладают своеобразным зубным аппаратом, существенно отличным от большинства наземных и водных хищников. Зубы акул держатся в коже десен, образуя от 4 до 6 (у отдельных видов до 20) рядов. Подсчитано, что одна тигровая акула за десять лет способна отрастить, использовать и сбросить 24 000 зубов. Естественных врагов у акулы очень мало, лишь в редких случаях на нее нападает касатка или рыба-меч. Акулы наделены чрезвычайно чувствительной сенсорной системой для поисков пищи, которая позволяет им ощущать вибрацию воды от другого источника на расстоянии 180 м. Кроме того, акулы обладают отличным обонянием. Акула чует рыбью кровь, даже если один грамм крови разбавлен в миллионе граммов воды. В Мировом океане известно более 250 видов акул, но среди них наиболее опасной для человека является акула-людоед (белая, или кархародон), имеющая длину тела около 6 м и массу более 3 т.

Многие виды морских организмов способны вырабатывать электрическую энергию. В океане зафиксировано около 250 видов таких рыб. Но наиболее опасным является электрический скат Северной Атлантики. Он имеет длину тела до 2 м и способен создавать ток напряжением 200 В, что вполне достаточно,

чтобы убить любое животное, оказавшееся поблизости в воде. Электрические угри, у которых электрические органы занимают до 75% поверхности тела, генерируют ток большой силы, который может представлять серьезную опасность для человека. Особенно опасны угри, обитающие в пресных водах Южной Америки, которые способны вырабатывать ток напряжением 600 В.

Животный мир океана чрезвычайно богат и разнообразен. Интерес представляет одна хрящевая рыба, родственная акулам и скатам,— рыба-пила, которая наделена сильно удлиненным рылом с зубовидными выростами по бокам, похожими на пилу. Своим орудием рыба-пила рассекает на части мелкую рыбу, которой кормится. Среди морских скатов, обитающих в тропических водах, огромных размеров достигает морской дьявол — ширина диска мантии у него достигает 6—7 м, а масса до 1,5 т.

Своеобразен органический мир глубоководных районов океана. На больших глубинах физико-географические условия отличаются от условий поверхностных зон. Так, с увеличением глубины понижается температура воды, несколько уменьшается содержание кислорода, имеет место недостаток пищевых ресурсов, и вся толща воды находится в условиях полной темноты. Одним из существенных параметров становится гидростатическое давление. На глубинах давление достигает величин 700—1000 атмосфер. Рыбы приспособились к жизни на больших глубинах путем редукции плавательного пузыря или заполнения его полости жировой тканью. По некоторым данным, затраты энергии на наполнение пузыря газом на глубине 1000 м почти в 300 раз больше затрат для наполнения пузыря газом на глубине 10 м. У многих морских организмов глубоководных районов обнаруживается редукция опорных образований тела — раковин моллюсков, панцирей ежей, скелетов рыб. Отмечен гигантизм глубоководных форм среди равноногих раков и ежей, что связано с воздействием высокого давления на обмен веществ на больших глубинах. Многие глубоководные бентосные формы организмов имеют уплощенный вид тела (головоногие моллюски), что позволяет им быстрее и легче зарываться в осадок в поисках пищи.

На глубинах более 6000 м обнаружены бактерии, некоторые простейшие, многощетинковые черви, равноногие ракообразные, бокоплавы, голотурии, двустворчатые моллюски, морские ежи и др. Эндемизм фауны глубоководных районов океана на видовом уровне превышает 60%. Однако существуют резкие биогеографические различия между фауной различных глубоководных желобов. Так, в Курило-Камчатском желобе 90% биомассы бентоса составляют голотурии, во впадине Кермадек 70—95% приходится на двустворчатых моллюсков, а во впадине Тонга 50% — на равноногих раков и бокоплавов.

Для наиболее глубоководных частей океана характерен полный мрак. Поэтому у многих организмов органы зрения атрофированы, зато хорошо развиты органы осязания, а у некоторых животных развиты органы свечения. По последним данным, в на-

5 Заказ № 1993

стоящее время в Мировом океане известно более 800 светящихся видов. К ним относятся более 200 видов моллюсков, около 60 видов простейших, 100 видов кишечнополостных, около 50 видов червей, свыше 150 видов ракообразных и около 300 видов рыб.

Свечение живых существ называется *биолюминесценцией* и происходит благодаря взаимодействию двух химических веществ — люциферина и люциферазы («холодный свет»), причем только 1% энергии, затраченной на выработку света, теряется в виде тепла. Большинство светящихся животных вырабатывают свет в специальных органах (фотофоры), которые состоят из массы клеток, способных генерировать излучение. Иногда свет могут испускать светящиеся бактерии, паразитирующие на глубоководных животных.

Наиболее замечательным представителем глубоководной фауны океана является рыба-удильщик. Рыба снабжена «удилищем», «леской» и светящейся «приманкой». У самки удочкой часто служит специальная кость, которая с помощью мышц выдвигается или втягивается в углубление, расположенное вдоль спины. На конце «удочки» находится орган, вырабатывающий свет, который при необходимости может включаться или выключаться. На эту «приманку» в сплошном мраке привлекаются любопытные жертвы, затем удилище подтягивается и приманка вместе с жертвой оказывается у самой пасти. Но иногда в глубинах океана встречается рыба-удильщик, светящиеся органы которой расположены в ротовой полости, что позволяет заманивать мелких рыбешек прямо в ярко освещенную пасть. Многие глубоководные удильщики могут выпускать в воду в момент опасности облако светящихся огоньков, что позволяет им, выключив свои огни, спастись бегством.

Жизнь в Мировом океане существует на всех глубинах в той или иной форме, в зависимости от условий среды. Значительная часть организмов океана используется в разной степени человеком. Океан с незапамятных времен служил источником питания для человека, и до недавнего времени запасы рыбы в нем представлялись почти неисчерпаемыми. Однако теперь стало ясно, что это далеко не соответствует действительности. В последние годы стали вводится различные ограничения на вылов определенных видов рыб, чтобы в конечном счете не нарушать восстановления их запасов. В настоящее время биологические ресурсы океана оцениваются примерно в 100—150 млн. т. Среди них по массе на первом месте находятся рыбы (85%), затем следуют киты и ластоногие (6%), ракообразные и другие объекты, включая водоросли (9%). Среди рыб наиболее продуктивны анчоусовые, сельдевые, тресковые, скумбриевые, тунцовые, камбаловые, ставридовые. В настоящее время основной улов идет в шельфовой зоне — 86%; на район материкового склона приходится 4% и на удаленные от берегов районы пелагиали океана — 10% улова.

Советскими исследователями получены новейшие данные по биологическим ресурсам Атлантического и Тихого океанов. Так,

Атлантический океан занимает первое место по рыбопродуктивности среди других океанов. Если рыбопродуктивность Мирового океана составляет в среднем 166 кг/км², то Индийского океана — 40, Тихого — 170, а Атлантического — 260 кг/км². В то время как акватория Атлантического океана и сопредельных морей занимает лишь 27% акватории Мирового океана, общий ежегодный улов водных организмов в нем составляет 41—43% мирового вылова (26 млн. т без китов). В Атлантическом океане вылов тунцов, меч-рыбы и парусниковых всеми странами в 1970—1980 гг. составил 282—411 тыс. т, летучих рыб — 200—500 тыс. т. Вылов акул в открытых водах океана в ближайшие годы может быть увеличен на 150 тыс. т по сравнению с 1966 г.

В 60-х гг. в Мировом океане добывалось огромное количество китов. В 1967 г. только советскими и японскими китобойными флотилиями было добыто около 24 000 китов (в основном кашалотов, финвалов, сейвалов). Такой чрезмерный вылов привел к резкому сокращению численности отдельных видов китов в океане. Поэтому Международная китобойная комиссия вынуждена была повсеместно ввести запреты на добычу синих и горбатых китов. С начала современного промысла (1900 г.) по 1967 г. только в северной части Тихого океана было изъято почти 8600 синих китов. С 1979 г. в этой части Тихого океана пелагический промысел китов был полностью запрещен.

Таблица 15

Изменение расчетной численности основных промысловых видов китов в тихоокеанском секторе Антарктиды
(по *А. А. Берзину, А. С. Перлову*)

Вид китов	Численность, тыс. особей		Время введения запрета промысла
	до начала массового промысла („первоначальная")	современная	
Кашалот	800	130	1980
Синий кит	30	1—1,5	1965
Финвал	100	7	1976
Сейвал	30	18	1978
Малый полосатик	70	60	промысел продолжается
Горбатый кит	80	1,5	1966
Гладкий кит (австралийский)	30—50	0,3—0,5	1937

Как видно из таблицы 15, малый полосатик, регулярный промысел которого начат в 1971—1972 гг. в связи с истощением запасов других видов, стал сразу же основным промысловым видом усатых китов в Антарктиде. Все биологические показатели малого полосатика пока свидетельствуют о хорошем состоянии популяции. Наблюдения самых последних лет подтверждают, что горбатые киты новозеландской и восточноавстралийской популяции начали успешно наращивать свою численность.

По данным советских и зарубежных ученых, имеются возможности интенсификации использования пищевых ресурсов Мирового океана, и прежде всего повышение продуктивности его экосистемы. Для этого следует увеличить добычу пищевой продукции за счет новых промысловых видов (фито- и зоопланктон), особенно криля, который образует огромные скопления в Атлантике. Конечно, можно усилить эксплуатацию недоиспользованных запасов рыбы, повысить первичную продуктивность океана, но все эти пути не смогут полностью решить проблему его биологических ресурсов. Тем более что в последние годы остро встала проблема загрязнения вод океана различными химическими веществами от промышленности и нефтепродуктами. Нефтяное загрязнение вод Мирового океана различными путями составляет более 6 млн. т нефтепродуктов ежегодно, что прежде всего отрицательно влияет на биологические ресурсы водной среды.

Новым и перспективным направлением не только освоения, но и обогащения биологических ресурсов Мирового океана является *марикультура,* т. е. выращивание и разведение промысловых организмов. Интересно отметить, что в Японии еще за 2000 лет до н. э. на приливных участках берега занимались выращиванием устриц; об их разведении в Древней Греции упоминал Аристотель. В России в конце XIX в. товарным выращиванием устриц занимались в Севастополе, бухты которого изобиловали устричными банками. Современный этап развития марикультуры начался в 50—60-х гг. нынешнего столетия.

В настоящее время ежегодная продукция марикультуры беспозвоночных в мире составляет около 1132 тыс. т, в том числе 620 тыс. т устриц и 357 тыс. т мидий. Беспозвоночные культивируются в США, Испании, Японии, Франции, ФРГ, Канаде и других странах. Однако лидером по объему выращиваемых организмов и разнообразию их видов является Япония, которая производит до 30% мировой продукции марикультуры. Ведущее место в мире по выращиванию мидий занимает Испания, где из производства 163 тыс. т беспозвоночных в год 98% (или 45% мировой продукции) приходится на мидии. В Испании широко применяется «японский» метод выращивания мидий на плотах; именно таким путем в Японии выращивается до 230 тыс. т устриц.

В СССР исследования в области марикультуры начались с 60-х гг. на Дальнем Востоке, у берегов Японского моря (залив Петра Великого). Здесь на промышленную основу поставлено разведение тихоокеанских лососей, а также начато культивирование беспозвоночных и водорослей на опытно-промысловых морских фермах. Ведутся работы по созданию основ марикультуры в бассейнах Белого и Баренцева морей: организация искусственных нерестилищ для сельди и изучение возможностей культивирования мидий и водорослей. Значительное развитие марикультура получила в бассейне Каспийского моря, где на осетроводческих заводах по типу выростных хозяйств проводится воспроизводство и подрастание молоди осетровых. В Азово-Черноморском бассей-

не получены практические результаты по культивированию и использованию мидий в пищевых целях, а также в качестве высокоэффективных кормовых добавок в птицеводстве и животноводстве. За последние годы созданы мидийные плантации в Керченском проливе, Каркинитском заливе и на одесском побережье.

Преимущества марикультуры огромны, если человек начнет использовать потенциальные возможности размножения и быстрого роста организмов. Например, в Европе получены положительные результаты по выращиванию форели, в Японии еще в 1965 г. около 800 морских хозяйств выращивали промысловую рыбу — желтохвоста, в Малайзии успешно занимаются разведением тропических креветок, в США выращивают омаров. Во многих странах занимаются выращиванием морских водорослей, из которых получают массу ценных компонентов для фармацевтической и кондитерской промышленности. Человек стал выращивать в искусственных условиях на «подводных фермах» многие ценные виды рыб и затем выпускать их в океан, тем самым способствуя обогащению его биологических ресурсов.

Человечество обязано сохранить уникальную экосистему океана — источника жизни и благополучия на нашей планете. Известный французский океанолог Жак-Ив Кусто пишет: «Мы должны научиться уважать неприкосновенность и равновесие мира, столь неразрывно связанного с нашим. Глядишь, и поймем, что море — продолжение нашего мира, часть нашей Вселенной, владения, которые мы обязаны охранять, если хотим выжить».

Глава V

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ НА МАТЕРИКАХ

Средой для растений, как и для прочих организмов, служит вся совокупность компонентов ландшафтной оболочки Земли. В связи с их зональностью зональны и типы растительных сообществ.

С. В. Калесник

Распределение массы живого вещества на земной поверхности сложилось таким образом, что биомасса организмов на материках в 800 раз превышает биомассу Мирового океана (табл. 8). Если в океане подавляющая часть биомассы приходится на долю животных, то на суше наоборот, около 99% биомассы составляют зеленые растения. В океане распределение живого вещества довольно неравномерно, но тем не менее охватывает всю водную толщу. На материках растения занимают пространство в виде тонкого слоя, который обволакивает поверхность планеты с резкими перерывами. Растительность практически отсутствует в областях материковых оледенений и в крайне засушливых районах пустынь.

Живые организмы, находясь в тесном взаимодействии с окружающей средой, приспособились к определенным условиям жизни и выработали свой внешний облик, внутреннее строение и физиологические особенности. На распределение растений и животных земной поверхности существенно влияют различные экологические факторы: климатические (температура, освещенность, влажность), эдафические (почвенные), биотические, антропогенные и др. Основные процессы в тканях растений — фотосинтез, транспирация, обмен веществ — протекают интенсивно при определенных условиях соотношения тепла, влаги, света и т. д. Наиболее важным экологическим фактором, определяющим географическое распространение организмов, является температура. Существование на Земле крупных зональных типов растительности в основном обусловлено климатическими причинами. Различные типы природных ландшафтов тесно взаимосвязаны с климатическими поясами земного шара. Границы распространения отдельных видов растений совпадают с определенными климатическими параметрами. В Европе восточная граница ареала падуба остролистного совпадает с январской изотермой 0°С. Северная граница созревания финиковой пальмы совпадает с годовой изотермой +19°С.

Существует зависимость между температурой воздуха и морфологическими приспособлениями животных: в пределах одного вида крупные организмы встречаются преимущественно в более холодных областях. Так, например, наиболее крупный из пингвинов — королевский пингвин — обитает в Антарктиде, а самый маленький — галапогосский пингвин — обитает у экватора. Имеется еще одна экологическая закономерность: придатки тела (уши, хвосты, лапы) тем короче, а тело тем массивнее, чем холоднее климат. Примером может служить лисица. Так, фенек Сахары имеет длинные конечности и огромные уши. Лисица европейских стран более приземиста, и ее уши намного короче. У песца, живущего в Арктике, очень маленькие уши и короткая морда. Многие виды животных в наиболее холодную часть года вынуждены мигрировать в другие районы, а некоторые впадают в спячку.

Для жизни растений важным климатическим фактором является ветер, который косвенно влияет на их существование, а именно, усиливая испарение, он увеличивает сухость воздуха. Это часто может препятствовать развитию древесной растительности даже при благоприятных показателях температуры. Ветер, кроме того, играет существенную роль в расселении многих растений, перенося на большие расстояния пыльцу и споры, семена и плоды, предназначенные для размножения.

Также важным экологическим фактором, особенно для зеленых растений, является свет, определяющий процесс фотосинтеза. В связи с этим растения в лесу располагаются ярусами: наиболее светолюбивые образуют самый верхний ярус, тенистые — нижний. Еловая тайга характеризуется наличием 2—3 ярусов, а широколиственные леса — до 4—5. Внутри этих ярусов соответственно и живут определенные животные. Так, одни птицы вьют гнезда на вершинах больших деревьев, другие предпочитают сообщество подлеска.

Влага совершенно необходима для жизни наземных растений и животных. Растения извлекают нужную им воду из почвы при помощи корней и испаряют (транспирируют) ее своими зелеными частями. Так, одна береза испаряет за сутки 75 л воды, бук 100 л, а липа даже до 200 л. Основными способами уменьшения интенсивности транспирации являются: периодическое уменьшение испаряющей поверхности (сбрасывание листьев в сухой период), образование узких листьев (иголки, чешуйки), накопление воды в листьях («суккуленты», такие растения, как кактусы, алоэ и др.). Для жизни сухопутных животных вода также необходима. Трудно приходится животным аридных областей, но там они воды пьют мало, удовлетворяют свои потребности за счет воды, поступающей с пищей. В пустынных областях встречаются животные (верблюд и насекомые), которые получают воду в процессе окисления жиров.

В зависимости от наличия воды растения располагаются по местам обитания: гидрофиты — могут жить в очень влажных средах; мезофиты — отличаются умеренной потребностью в

воде и обитают в районах с нормальным увлажнением; **ксерофиты** — предпочитают сухие места обитания. Примерами гидрофитов являются водные растения с погруженными и плавающими листьями (рдесты, кувшинки) или погруженные в воду своими нижними частями (рис, тростник). К ксерофитам относятся полыни, солянки и другие растения сухих областей земного шара.

На распределение растений существенное влияние оказывают почвы, формирование которых вообще невозможно без участия растений. Но и почва, в свою очередь, очень важна для растений, ибо они из нее для своей жизнедеятельности извлекают минеральные, органические питательные вещества и влагу. На земной поверхности отмечается четкое соответствие между основными ботанико-географическими зонами и главными типами почв.

На почвах развивается основная часть зеленых растений Земли, поддерживающих нормальный уровень содержания кислорода в атмосфере. Почвенный покров обеспечивает благоприятные экологические условия существования всех форм сухопутных растений: запасы энергии и влаги, элементы питания (азот, фосфор, калий и др.). В почвах содержится большое количество зольных элементов, необходимых для нормального функционирования роста растений. Растения, характерные для определенных местообитаний, накапливают в своем теле некоторые химические элементы, являясь индикаторами различных почв. Так, на засоленных почвах произрастают: солерос, сарсазан, полынь приморская, лебеда, способные выдерживать значительную степень засоления почв (галофиты). Индикаторами наиболее кислых почв в лесной зоне служат вереск, брусника, черника. Такие растения, как эдельвейс, а также многие виды орхидей произрастают на почвах, естественно обогащенных кальцием (сформированных на известняках). Другие растения (каштан, папоротник орляк) предпочитают почвы, бедные кальцием и соответственно обогащенные кремнием.

Важную экологическую роль в жизни организмов играют биотические факторы. Каждый живой организм существует в окружении множества других, вступая с ними в самые разнообразные взаимоотношения. Создаются взаимосвязанные сообщества организмов — биогеоценозы. Биогеоценоз — это взаимосвязанная процессами материального и энергетического обмена совокупность растений, животных, микроорганизмов и биотопа — конкретного места обитания (рис. 3). Советский ученый В. Н. Сукачев разработал основы учения о биогеоценологии, которое является составной частью общего учения о биосфере. Основной задачей биогеоценологии является изучение взаимоотношений организмов при совместном обитании в различных биоценозах.

Хотя биогеоценоз и является довольно устойчивым природным образованием, но он также подвергается изменениям. Например, сильные морозы зимой 1963 г. уничтожили оливковые деревья на юге Франции, падуб — в центральных районах Европы. По данным Ж. Леме, в результате интенсивной рубки дугласовой

пихты в Скалистых горах значительно возросла численность медведей, поскольку в данном случае произошло увеличение ягодных растений и пчелиных гнезд.

Живые организмы в результате своей деятельности могут влиять на окружающую среду. Деревья, например, могут снижать освещенность и задерживать часть выпадающих атмосферных осадков на занимаемой ими площади. В буковом лесу почти весь свет задерживается густой кроной, поэтому в его подлеске могут произрастать лишь немногие теневыносливые виды растений.

Самое большое влияние на почвы оказывают дождевые черви, иногда населяющие ее весьма плотными популяциями (на 1 га пашни может быть свыше 300 000 червей). Дождевые черви способствуют лучшей аэрации почвы, проникновению в нее воды, перемешиванию и обогащению органическим веществом.

На материках, как и в Мировом океане, наблюдается горизонтальная и вертикальная зональность всех географических процессов и распределения живого вещества. На рисунке 22 показа-

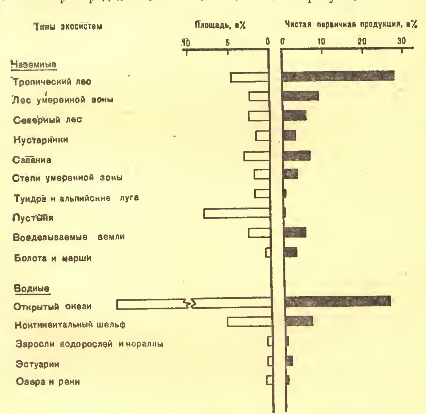


Рис. 22. Площади и годовая продукция главных экосистем земного шара (по *Р. Риклефсу*)

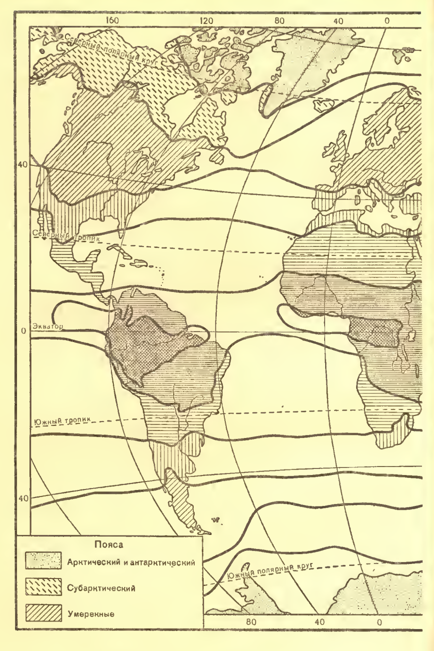
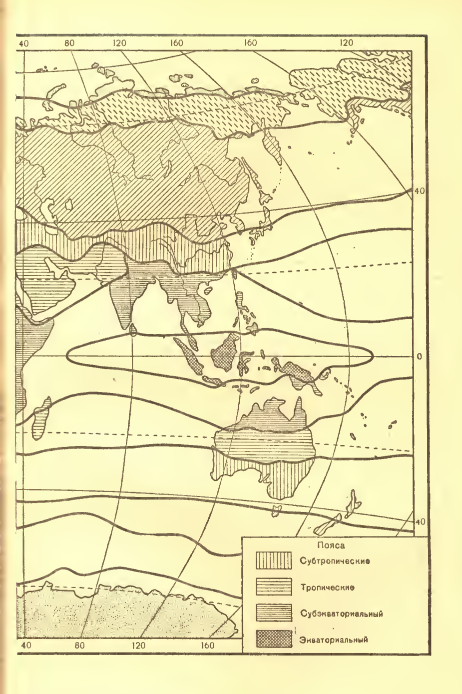


Рис. 23. Географические пояса земного шара


40
80
120
160
160
120
40
0
40
40
80
120
160
Пояса
Субтропические
Тропические
Субэкваториальный
Экваториальный

на годовая продукция главных наземных и водных экосистем земного шара. Благоприятное сочетание многих природных факторов приводит к тому, что наиболее продуктивной наземной экосистемой являются тропические леса (в расчете на единицу площади). Четко фиксируется резкое снижение продуктивности наземных местообитаний от влажных тропиков к умеренным поясам, особенно в зонах с весьма неблагоприятными климатическими условиями (пустыни, тундра, высокогорные районы). Максимальные уровни продукции (до 7000 г/м²) характерны для болот и маршей тропической зоны.

Продуктивность возделываемых земель при использовании орошения и внесении удобрений может достигать значительных величин. По данным Р. Риклефса, в умеренной зоне первичная продукция сахарной свеклы может достигать 1000 г/м² в год, а на Гавайских островах урожаи сахарного тростника — до 7000 г/м² в год. В то же время продуктивность лесов умеренной зоны составляет 600—2500 г/м² в год.

Как уже отмечалось, распространение живого вещества на материках тесно связано с географическими поясами и зонами. Пояса имеют широтное простирание (рис. 23), что естественно обусловлено в первую очередь радиационными рубежами и характером атмосферной циркуляции. Каждый географический пояс характеризуется преобладанием определенной воздушной массы. При выделении внутри поясов географических зон наравне с радиационными условиями принимаются во внимание увлажнение земной поверхности и соотношение тепла и влаги, свойственные данной зоне. В отличие от океана, где обеспеченность влагой полная, на материках соотношение тепла и влаги в различных районах может быть весьма отличным. Поэтому географические пояса распространяются на материки и океаны, а географические зоны только на материки. Например, в умеренном географическом поясе на материках выделяют следующие зоны: тайгу, смешанные и широколиственные леса, лесостепи, полупустыни и пустыни.

На рисунке 24 показано зональное распределение растительной массы на единицу площади по географическим поясам Земли. Наибольшее количество биомассы приходится на экваториальный (включая субэкваториальный) пояс, где продукции на единицу площади в 5 раз больше, чем в арктическом поясе. Затем отмечается в обоих тропических поясах резкое уменьшение биомассы с последующим увеличением ее в субтропических и умеренных поясах и с резким падением к полярным географическим поясам. Интересна общая закономерность в распределении живого вещества для материков и океана: тропические пояса характеризуются незначительными величинами биомассы.

Все возрастающее антропогенное воздействие на природные ландшафты вызывает необходимость познания законов функционирования различных экосистем с целью рационального их использования и охраны. В связи с этим важна оценка биологической продуктивности различных типов почвенно-растительных

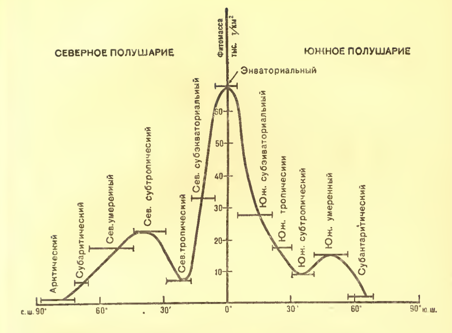


Рис. 24. Кривая распределения фитомассы на единицу площади (тыс. т/км²) по географическим поясам (по *К. К. Маркову* и др.)

формаций как основного первичного звена биологического круговорота веществ. Особенно большой фактический материал по продуктивности фитоценозов получен советскими учеными Н. И. Базилевич, Л. Е. Родиным и Н. Н. Розовым. По данным таблицы 16 можно видеть, что влажнотропические леса (гилеи) экваториального пояса имеют максимальную биологическую продуктивность. При перемещении к полярным областям продуктивность постепенно снижается. По новейшим данным Н. И. Базилевич, для территории СССР самые большие запасы фитомассы и годичной продукции характерны для широколиственных лесов влажных субтропиков Закавказья — более 4000 ц/га и около 200 ц/га в год соответственно. Минимальные значения биомассы характерны для такыров и слабо заросших песков пустынь Средней Азии — около 10 ц/га.

Аналогичная зависимость биомассы растений от климатических факторов выявляется для различных поясных типов растительности гор СССР (табл. 17). Основными критериями, контролирующими значения фитомассы в горах, являются температура и влажность воздуха. Особенно сильно отличаются показатели фитомассы гор аридных и гумидных районов (Гиссарский хребет и Западный Памир). Интересно отметить, что максимум фитомассы приходится на лесной пояс различных гор, выше которого к

Таблица 16

Биологическая продуктивность зональных типов почвенно-растительных формаций земного шара
(по *Н. И. Базилевич, Л. Е. Родину, Н. Н. Розову*)

Типы почвенно-растительных формаций	Запас фитомассы, ц/га
Полярные пустыни	50
Тундры на глеево-тундровых почвах	280
Хвойные леса северной тайги на глеево-подзолистых почвах	1500
Хвойные леса средней тайги на подзолистых почвах	2600
Хвойные леса южной тайги на дерново-подзолистых почвах	3000
Широколиственные леса на серых лесных почвах	3700
Широколиственные леса на бурых лесных почвах	4000
Полукустарничковые пустыни на серо-бурых почвах	45
Широколиственные леса на красноземах и желтоземах	4500
Пустыни на субтропических почвах	20
Влажнотропические леса на красноземных ферралитных почвах	6500
Влажнотропические леса бассейна Амазонки	10 000
Пустыни на тропических почвах	15
Мангровая растительность морских побережий	1200

вершинам горных систем значения фитомассы резко снижаются. Особенно в этом отношении показателен Большой Кавказ.

Рассматривая особенности распределения биомассы по материкам, ниже мы в кратком изложении приводим характеристику наиболее важных типов растительного покрова суши.

Зона арктических пустынь охватывает острова советской Арктики, северную часть Канадского архипелага, Гренландию и часть Шпицбергена. Характерны повсеместное распространение многолетней мерзлоты, крайне низкие температуры воздуха, наземное оледенение, господствует морозное выветривание, почвы примитивные и маломощные. Основной растительный фон составляют лишайники и мхи, почти отсутствуют кустарники и мало высших растений (пушица, дриада, кассиопея и др.). Широко распространены стелющиеся и подушкообразные формы. Вся островная флора высших растений насчитывает около 350 видов. Несмотря на бедность и однообразие растительности арктических пустынь, характер ее несколько меняется при движении с севера на юг. На севере зоны распространены травяно-моховые пустыни, а на юге появляются обедненные кустарничково-моховые арктические пустыни, в растительном покрове которых изредка встречаются полярная ива, камнеломка и дриада. Биомасса растений, как правило, менее 50 ц/га, при этом характерно преобладание

Таблица 17

Средние значения фитомассы в поясных типах растительности горных систем СССР (ц/га)
(по *О. Е. Агаханянцу*)

Поясные типы	Карпаты	Большой Кавказ	Гиссарский хребет	Западный Памир	Северный Тянь-Шань	Саяны
Криофитная растительность	—	—	261	4	—	—
Горные низкотравные луга	20,2	—	—	—	—	—
Горные высокотравные луга	23,6	31,2	478	—	—	—
Горные степи	—	—	663	19,7	48,1	—
Горные пустыни	—	—	505	16,8	—	—
Нагорные ксерофиты	—	—	—	28,2	—	—
Стланики	61,5	112	—	—	—	—
Хвойные редколесья	—	—	620	16	—	—
Мелколиственные леса	—	—	—	—	—	760
Хвойные леса	2945	3011	—	—	—	2228
Широколиственные леса	—	3459	1110	—	1235	—
Лиственные редколесья и кустарники	—	—	487	388	—	—
Эфемеретум	—	—	221	15	—	—

Примечание. Криофитная растительность — это сообщества растений холодных и сухих высокогорий; стланики — сообщества стелющихся древесных пород; эфемеретум — горные сообщества крупнозлаковых многолетних растений.

надземной массы над подземной. Низкой продуктивности растительного покрова соответствует скудность животного мира.

Зона тундры. Эта зона занимает северные окраины Евразии и Северной Америки. Термин «тундра» происходит из финского языка и означает «плоская безлесная возвышенность» (для Кольского полуострова). Еще М. В. Ломоносов отмечал, что «тундрами называются места, заросши мхом». В настоящее время большинство исследователей считают безлесие тундры зональным явлением, обусловленным комплексом неблагоприятных для леса факторов, среди которых ведущая роль принадлежит низким температурам воздуха в сочетании с высокой относительной влажностью. Границы тундры четко определены климатически: южная совпадает с изотермой июля +10°С.

Для тундры характерны плоские приморские низменности, низкие температуры воздуха, короткий вегетационный период (2—2,5 месяца), практически отсутствует безморозный период, количество атмосферных осадков составляет 200—400 мм в год, присутствует многолетняя мерзлота. Эти факторы обусловливают

переувлажненность тундры, что сказывается на характере почв, для которых типично малое содержание гумуса.

Флора тундры насчитывает до 250—500 видов растений. Растительный покров образован мхами, лишайниками, травянистыми растениями с участием низкорослых кустарничков. Весьма распространены стелющиеся и подушкообразные формы растений, что им позволяет выжить в таких условиях. Растения тундры малорослы и характеризуются небольшим ежегодным приростом. Веточка полярной ивы прирастает за вегетационный период на 1—5 мм, а прирост ягеля («олений мох») составляет 3—5 мм. Немногочисленные травы (осоки, полярные маки, одуванчики, кустарнички — голубика, брусника, морошка) чередуются с карликовой березкой, полярной ивой, кедровым стлаником. Биомасса растений находится в пределах 40—280 ц/га, а годовой прирост равен 10—25 ц/га. При движении с севера на юг выделяются подзоны арктических, мохово-лишайниковых и кустарничковых тундр. Так, в Северной Америке кустарничковые тундры определяют ландшафт больших пространств и образованы главным образом растениями из семейства вересковых. Мохово-лишайниковые тундры имеют большое хозяйственное значение, так как являются пастбищами для северных оленей.

В южном полушарии на субантарктических островах своеобразным аналогом тундр являются растительные формации, представленные различными видами злаков и разнотравья. Климатические условия, а именно холодное лето, высокая влажность при средней температуре выше 0°C, сильные ветры, оказывают неблагоприятное влияние на развитие растений. Поэтому в этих условиях формируются сообщества растений, относящихся к жизненной форме крупных травяных подушек, достигающих 1 м в поперечнике. Также в состав сообществ входят плауны, папоротники, лишайники, при этом существенно снижена роль мхов и почти полностью отсутствуют кустарники и кустарнички.

Гидротермический режим и экологические условия обитания животных обусловливают бедность их видового состава и сравнительную простоту структуры животного населения тундры.

На рисунке 25 показаны основные потоки энергии в сообществах тундры, где четко фиксируются разнообразные отношения между организмами. Конечно, главную роль здесь играют пищевые связи, в процессе которых организм получает необходимую энергию для своего существования. Подавляющее большинство животных в тундре активны лишь в течение нескольких летних месяцев, а бо́льшую половину года находятся в состоянии анабиоза (беспозвоночные) или спячки (сурки, суслики). Часть из них покидают пределы зоны, мигрируя в более южные районы (почти все птицы, многие млекопитающие). Лишь немногие животные способны вести активную жизнь в тундре в течение круглого года (лемминги, северные олени, зайцы-беляки, волки, песцы, полярные совы).

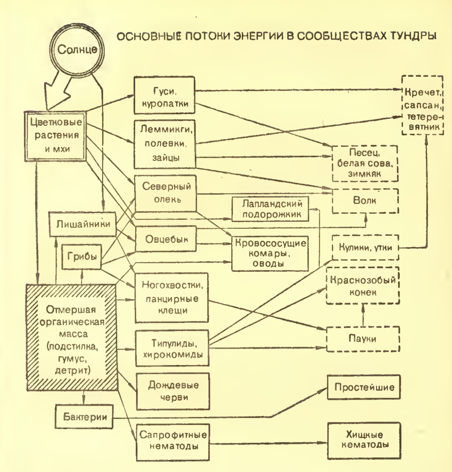


Рис. 25. Основные потоки энергии в сообществах тундры (по *А. Г. Воронову* и др.)

Велика роль снега в жизни животных тундры, хотя его толщина в среднем составляет 20—30 см. Под покровом снега живут горностай и ласка, которые охотятся за полевками и леммингами. Подснежное размножение тундровых грызунов (лемминги, узкочерепная полевка) является одним из тех приспособлений, которое позволило этим животным успешно освоить тундровые ландшафты. Даже для крупных растительноядных млекопитающих (северный олень, овцебык) снег служит важным фактором их зимней жизни. Они должны каким-то образом добираться до скрытой под снегом растительности.

В почвенно-подстилочном ярусе среди сапрофагов по численности доминируют мелкие круглые черви — нематоды, клещи, обычны также дождевые черви и личинки различных комаров. По биомассе на первом месте идут дождевые черви, имеющие

длину до 30 см. Зеленую массу в течение круглого года потребляют мелкие грызуны — лемминги и полевки. Зимой лемминги питаются побегами и корой различных кустарников, а летом в свой рацион добавляют ягоды и грибы. Излюбленным кормом для леммингов служат мясистые части осок и пушиц, молодые побеги и почки возобновления трав и кустарничков, которые они достают из-под мхов. Эти зверьки, превращая моховой покров на больших территориях в труху, тем самым способствуют обновлению и повышению продуктивности растительных ассоциаций.

Среди хищников тундры можно отметить таких, как песец, тундровый волк, белая или полярная сова и др. Песец питается в основном леммингами и полевками, но иногда разоряет и птичьи гиезда. Тундровый волк охотится на северных оленей, поедает грызунов, ловит линных гусей. Численность хищников в значительной степени зависит от количества основных видов грызунов; в годы массового размножения леммингов у песцов появляется больше детеиышей в выводке. Сравиительно недавно в тундре обитал овцебык, который был истреблеи и сохранился лишь в Севериой Америке. Сейчас его вновь завезли и поселили на Таймыре и иа острове Враигеля.

В последние годы сильно возросло антропогенное воздействие на природные ландшафты тундровой зоны. В местах поселения человека происходят изменения растительного покрова. Появляются многочисленные виды сорных растений, уменьшается числеиность некоторых промысловых животных. Поэтому в условиях Севера особенно важна разработка принципов рационального природопользования и охраны ландшафтов, которые весьма чувствительны и уязвимы к деятельности человека.

Лесотундра — переходная от тундры к тайге природная зона субарктического пояса. Ее климатические условия сходны с климатом тундры, почвы глеево-подзолистые и торфяно-глеевые. Биомасса растений составляет 250—500 ц/га. Растительный покров представляет сочетание тундр, редколесий, болот и лугов. На Кольском полуострове господствует березовое редколесье, от Белого моря до Урала — еловое и березовое, от Урала до Аиадыря — лиственничное. Деревья в лесотундровой зоне имеют высоту не более 6—8 м, стоят далеко друг от друга, и стволы их обычио искривлены в соответствии с господствующим направлением ветров. В этой природной зоне к животным тундры присоединяются лесные формы: росомаха, ласка, норка, бобр, бурый медведь и др. Лесотундра — зона развитого северного оленеводства, а также зона охотничьего промысла и звероводства. В последние годы интенсивно развивается клеточное звероводство (черио-бурая лисица, песец).

Зона тайги в Евразии простирается с запада на восток более чем иа 7000 км, в Северной Америке — на 5000 км, а ее протяжеиность с севера иа юг более 1000 км; в Сибири почти вдвое больше. В СССР общая площадь, покрытая лесом (769 млн. га), иа 73% занята хвойными породами, при этом горная тайга зани-

мает 53% всей площади страны. Таким образом, тайга является наиболее крупной по площади природной зоной СССР.

По сравнению с тундровой зоной тайга получает значительно больше тепла. Лето прохладное, но достаточно теплое для произрастания хвойных лесов. Резко увеличена длительность безморозного периода: 75—90 дней на севере зоны и 100—120 дней на юге. Годовая сумма атмосферных осадков колеблется в пределах 300—700 мм в год. Причем значительная их часть выпадает в виде снега. Снежный покров имеет огромное значение для произрастания таежной растительности, так как он сохраняет тепло в почве, которая зимой всегда бывает теплее воздуха. В таежной зоне распространена многолетняя мерзлота (особенно к востоку от Енисея), которая играет решающую роль в распределении типов растительности и почв. Многолетняя мерзлота имеет широкое распространение и в Северной Америке, причем в Канаде она занимает более половины бореальной зоны, способствуя сильному заболачиванию территории. Господствующим типом почв в тайге являются подзолистые, которые занимают около 38% территории СССР.

Биомасса растений таежной зоны составляет 1000—3500 ц/га, а годовой прирост 25—100 ц/га. Видовой состав древесной растительности тайги сравнительно беден: ель, сосна, кедр, лиственница, пихта. Меньшую роль играют мелколиственные породы — береза, ольха, ива, тополь. В СССР еловые леса образованы 5 видами елей. В южной части тайги европейской территории СССР и Дальнего Востока к хвойным породам примешиваются широколиственные (дуб, вяз, клен, липа и др.). Наибольшей биомассой обладают ельники: на севере Европейской части СССР их фитомасса составляет 1115 ц/га, а на юге — до 3044. Сосновые леса на севере дают 830, а на юге — до 2038 ц/га. В настоящее время выделяют следующие основные типы тайги.

Темнохвойная еловая тайга представлена обыкновенной и сибирской елью с участием пихты и сосны. Темнохвойные леса более требовательны к влажности воздуха и постоянно умеренной влажности почв, для них благоприятны суглинистые и глинистые почвы. Наиболее распространенными растительными сообществами являются ельники-зеленомошники.

Светлохвойная сосновая тайга занимает те территории, на которых другие хвойные породы не могут существовать. Сосна весьма неприхотлива и может произрастать на песчаных и бедных почвах. Иногда сосновые леса могут расти на местах выгоревших еловых лесов. По сравнению с Евразией в Северной Америке сосна играет в древостое значительно меньшую роль. На песчаных и маломощных почвах здесь растет сосна Банкса.

Светлохвойная лиственничная тайга занимает огромные пространства в Евразии, господствуя к востоку от Енисея. Основной породой является даурская лиственница, которая имеет горизонтально расположенную корневую систему, что важно для районов, где близко к поверхности подходит многолетняя

мерзлота. Здесь повсеместно встречаются кустарнички (из вересковых). Лиственничные леса с брусникой (лиственничники-брусничники) широко распространены на глинистых и богатых известью карбонатных почвах.

В Сибири несколько меньший ареал по сравнению с лиственницей занимает кедр сибирский — мощное дерево высотой до 40 м (предельный возраст до 800 лет). Это очень ценное дерево, которое плодоносит с 20 до 250 лет. При этом урожай «орехов» может достигать 600 кг/га. Чистые кедровые леса встречаются чаще всего в верхних поясах гор, а на равнинах — в средней тайге Западной Сибири. Кедровый стланик — кустарник-деревце высотой до 4—5 м, является типичным растением востока Азии. Он очень неприхотлив и может произрастать на песках и голых камнях.

Непременным элементом таежного ландшафта являются болота (верховые сфагновые), образованию которых способствуют многие природные факторы: гумидный климат, наличие многолетней мерзлоты, равнинный рельеф, типы почв и др. Многие деревья тайги приспосабливаются к заболачиванию: разветвляют свою корневую систему в поверхностном горизонте почв или образуют многоярусное расположение корней по мере нарастания торфа. Но развитие болот всегда идет быстрее, что приводит к постепенной смене растительных сообществ.

Животный мир тайги так же не богат количеством видов, как и растительный покров, но зато все виды животных весьма ценные (рысь, бурый медведь, горностай, соболь, росомаха, белка, ласка, лесная куница и др.). В таежной зоне СССР обитают 90 видов млекопитающих и около 250 видов птиц (рябчик, глухарь, дятел, синицы и др.). Тайга обеспечивает животных самым разнообразным питанием. Семена и хвоя, ветви и лишайники доступны в любое время года, а в теплый сезон рацион обогащается листьями, ягодами и грибами. Одним из важнейших кормовых ресурсов в тайге являются семена хвойных пород, которыми питаются многие птицы, грызуны и даже хищные животные. Характерная таежная птица — кедровка — семена кедровой сосны и ели прячет в дуплах деревьев, во мху; а зимой находит их, выкапывая норы в снегу. Однако кедровка находит не все свои «кладовые», поэтому оставшимися семенами могут поживиться полевки, бурундуки, а неиспользованные животными семена прорастают. Поэтому благодаря кедровке идет возобновление кедровой сосны на вырубках и полянах, на лесных гарях. Сам же бурундук входит в рацион пушных хищников: соболя, лисицы, медведя. Широко в тайге распространен заяц-беляк, который питается травами, а зимой — корой осины и веточками кустов. Тайгу Евразии населяет обыкновенная белка, в Северной Америке распространена красная белка. Основу питания беличьих составляют семена хвойных, а также ягоды, грибы, почки деревьев. Единственным представителем кошачьих в тайге является рысь, которая питается преимущественно зайцем-беляком.

Из промысловых птиц по всей тайге распространены рябчик и глухарь; также характерен дятел, который уничтожает вредителей коры деревьев. Дятел, часто покидая выдолбленные для себя дупла, обеспечивает гнездами других птиц. Из хищных птиц по всей таежной зоне распространены различные виды сов (ястребиная, бородатая неясыть), крупный ястреб-тетеревятник и др. Вся тайга населена огромным количеством кровососущих насекомых, одних только мошек насчитывается около 40 видов. Огромны рыбные богатства рек и озер таежной зоны СССР, лишь только лососевых и сиговых водится около 40 видов.

Охотничье-промысловые ресурсы тайги огромны. Страна получает большие доходы от добычи пушнины, мяса, шкур, лекарственного и технического сырья. Однако в результате интенсивного хозяйственного освоения таежной зоны происходят необратимые изменения в среде обитания диких животных. Особенно сильно антропогенную нагрузку испытывают лесные ландшафты тайги Европейской части СССР. Поэтому для сохранения редких и исчезающих видов диких животных в нашей стране в последние годы начали интенсивно создаваться заказники, охотничье-промысловые и рыборазводные хозяйства. В настоящее время более 90% пушнины в таежной зоне дает клеточное звероводство. В заказниках охраняются и воспроизводятся такие промысловые животные, как заяц-беляк, бобр, горностай, куница, ласка, лисица, и птицы — глухарь, тетерев, рябчик, белая куропатка и др.

Зона смешанных и широколиственных лесов располагается к югу от тайги, захватывая в северном полушарии восток США, Западную Европу (кроме Средиземноморья), среднюю полосу СССР и часть притихоокеанского сектора Азии, а в южном — западное побережье Южной Америки, Тасманию и южный остров Новой Зеландии. По сравнению с тайгой здесь более благоприятный климатический режим, годовые суммы осадков достигают 1000—1500 мм, почвы дерново-подзолистые и бурые лесные. В зоне смешанных лесов широколиственные группировки перемежаются с ельниками, березняками и сосновыми борами. Местами встречаются луга и поляны с богатым разнотравьем. Биомасса растений колеблется от 3000 до 5000 ц/га. В Северной Америке, кроме хвойных, в этой зоне растут американские виды кленов, тополей, лип, берез, каштанов.

Широколиственные леса Европы флористически самые бедные, относительно просты в структурном отношении и сильно изменены деятельностью человека. Они представлены различными видами дуба, бука, граба, каштана, ясеня, липы, вяза и др. В приморских районах Европы преобладают каштановые леса, а на остальной территории — буковые и дубовые. Лиственные леса притихоокеанского сектора Азии характеризуются поразительным видовым богатством флоры, здесь отмечается смесь вечнозеленых, лиственных и хвойных пород. Многочисленны виды клена, ореха, вяза, березы, ясеня, ольхи, магнолии, вишни, аралии, камелии и др. По сравнению с европейскими лесами здесь повы-

шена роль лиан и папоротников-эпифитов. В умеренных широтах южного полушария, где климат очень влажный, с ровным годовым ходом температур, преобладают вечнозеленые лиственные леса (южный бук, кипарис, араукария, эвкалипт, подокарпус).

В широколиственных лесах четко выраженная ярусная структура, наличие сомкнутого древесного яруса, обильная подстилка и гумусовый горизонт обеспечивают значительное разнообразие животного мира.

На рисунке 26 показаны основные потоки энергии в сообществах смешанных и широколиственных лесов. Опад древесных и кустарниковых пород формирует мощный слой подстилки. В разложении отмершей растительной массы ведущую роль играют животные-сапрофаги: дождевые черви, почвенные нематоды — круглые черви, клещи, многоножки и др. В кронах лиственных деревьев обильны насекомые, поедающие зеленые ткани листьев (жуки-листоеды, хрущи, бабочки, цикады). Верхнюю часть почвенного покрова в поисках корма осваивают различные кроты, землеройки.

В потреблении зеленой листвы, травы, а зимой — веток и коры деревьев участвуют крупные копытные: благородный олень, пятнистый олень, косуля. Кабан в отличие от оленей питается не только надземными, но и подземными частями растений (корневищами, клубнями, луковицами), выкапывая их своим носом. Кабан также питается червями, улитками, лягушками, личинками насекомых, являясь в полном смысле всеядным животным. Характерны для данной зоны хищные звери: лисица, волк, горностай, ласка, енотовидная собака, рысь.

Зона степей. Степная зона умеренного пояса отличается континентальным климатом, годовая сумма осадков составляет 250—450 мм в год. Это зона не только недостаточного увлажнения, но и неустойчивого режима осадков. Здесь влажные годы чередуются с засушливыми, причем засухи усугубляются суховеями. Почвенный покров зоны образован черноземами, черноземовидными и каштановыми почвами. Степная зона отличается отсутствием лесов и господством в естественном покрове злаковых ассоциаций. Биомасса составляет 100—370 ц/га, а годовой прирост — 40—140 ц/га. Плакорные участки степной зоны безлесны, лесные формации встречаются лишь по долинам рек, балок, на песках надпойменных террас (сосновые боры). Они представлены главным образом зарослями ивы, дуба, вяза, тополя и др.; здесь же встречаются степные кустарники (высотой до 1 м): степная вишня, терновник, степной миндаль.

В составе растительного покрова степей преобладают многолетние дерновинные травы (злаки и осоки); среди злаков — ковыль, типчак, мятлик. Характерны разнообразные растения «перекати-поле»: многолетники (качим метельчатый, кермеки, синеголовник полевой) и однолетники (солянка калийная, петросимония). Специфичны для степей эфемеры (однолетники) и эфе-

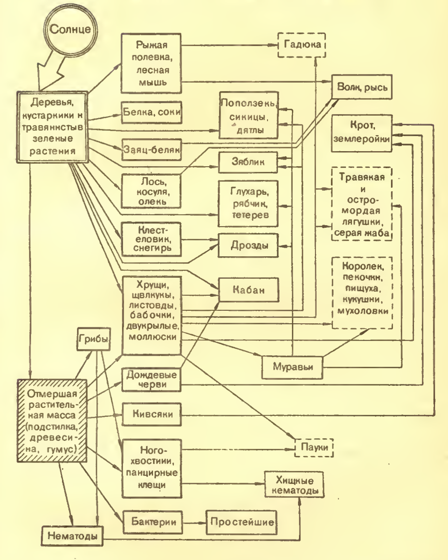


Рис. 26. Основные потоки энергии в сообществах смешанных и широколиственных лесов (по *А. Г. Воронову* и др.)

мероиды (многолетники), которым нередко свойственны яркие цветки. Особенно красочна степь ранней весной, когда цветут лиловые ирисы, крупные белые ветреницы, незабудки, золотисто-желтые крестовники, лютики и др. В северных степях видовая насыщенность — до 80 видов на 1 м², что представляет, как подсчитано учеными, максимальную величину для всех сообществ территории СССР. Степи в настоящее время почти все распаханы, и целинные их участки сохранились только в заповедниках (Аскания-Нова, Стрелецкая, Хомутовская, Персияновская степь и некоторых районах Казахстана, Забайкалья, юга Сибири).

Среди степных животных господствуют грызуны (суслики, сурки, слепушонка), из птиц — орлы, дрофы, стрепет и др. Разнообразны пресмыкающиеся: ящерицы, узорчатый полоз, степная гадюка.

Аналогом обширных восточноевропейских степей и североамериканских прерий в южном полушарии, в пределах умеренного пояса, в Южной Америке служит пампа, а в Новой Зеландии — туссоковые злаковники. Аргентинская пампа отличается от степей и прерий более благоприятным температурным режимом и значительным количеством атмосферных осадков (Буэнос-Айрес — от 550 до 2000 мм/год). Холодный зимний период в пампе отсутствует, хотя морозы и случаются. Хотя здесь и выпадает большое количество осадков, но пампа в целом лишена деревьев, которые встречаются лишь по долинам рек. По данным Г. Вальтера, произрастанию древесных пород в пампе препятствуют такие факторы, как слабая дренированность почв и наличие в почвенном профиле на разных глубинах весьма плотных мощных прослоев извести.

Основной фон растительного покрова составляют злаки (высотой более 1 м), которые представлены здесь 26 видами (ковыль, костер, бородач и др.). В южной пампе характерно господство крупнодерновинных злаков (типа травы туссок). Туссоковые злаки встречаются только в южном полушарии; они образуют мощные дерновины высотой более 1 м, в которых старые жесткие листья сохраняются и после отмирания, а между ними пробиваются живые зеленые листья. В настоящее время пампа представляет собой важный сельскохозяйственный район Аргентины, где сосредоточено 80% пахотных земель. В пампе потребителями травянистой растительности являются безгорбый верблюд гуанако и небольшой олень; из хищных здесь встречаются пампасные лисицы, гривистый волк, патагонская ласка.

Средиземноморская зона — область жестколистного вечнозеленого леса и кустарников. Зона располагается в умеренном поясе, занимая побережье Средиземного моря, Южный берег Крыма и Черноморское побережье Кавказа, а в южном полушарии — юго-западную часть Африки и Австралии. Температура воздуха в январе +4...+12°С, а в июле +18...+28°С. Выпадает 400—1000 мм осадков в год, при этом их максимум приходится на зимний период, а летом устанавливаются засушливые условия. В средизем-

номорской зоне распространены коричневые, своеобразные красноцветные почвы (терраросса).

Особенности климата и почвенного покрова привели к тому, что большинство типичных растений зоны являются ксерофитами с такими приспособлениями, которые помогают им пережить продолжительный летний сухой период. Для уменьшения транспирации многие растения приобрели жесткие листья — вечнозеленые виды дуба, благородного лавра, олеандра, рожкового дерева. Многие виды растений имеют слишком узкие листья, у других они напоминают хвою (кипарис, можжевельник, эрика). У некоторых растений листья и ветки редуцированы в колючки, а отдельные растения (лаванда, молочай) для уменьшения испарения имеют листья с восковым налетом или вынуждены в самые жаркие и сухие месяцы теплого сезона вообще терять почти все свои листья (ладанник). Значительное количество растений выделяют ароматические вещества, которые при испарении понижают температуру организма и привлекают опыляющих насекомых. Все эти особенности растений придают неповторимый облик флоре средиземноморской зоны.

Растительный покров Средиземноморья довольно сложный и пестрый. Флора насчитывает более 10 000 видов растений, и при этом количество эндемичных видов может достигать 40—50%, что связано с геологической историей Средиземного моря и прилегающих территорий. К характерным растениям зоны относятся: оливковое дерево, маслина, кипарис, сосна пиния, лавр, вечнозеленые дубы, земляничное дерево, ливанский кедр, олеандр, лаванда, фисташка и др. Одним из красивейших деревьев Средиземноморья является сосна итальянская, или пиния, с характерной зонтиковидной кроной, родина которой — Пиренеи.

На месте сведенных лесных формаций в средиземноморской зоне развиты вечнозеленые сообщества различных кустарников, среди которых наиболее характерны маквис и гарига.

М а к в и с (или маккия) — заросли вечнозеленых кустарников и деревьев (высотой не более 3 м), составляющих одну из самых своеобразных черт растительного покрова средиземноморской зоны. Здесь наиболее характерны каменный дуб, земляничное дерево, лавр, фисташка, можжевельник. На обширных участках, где уничтожаются формации маквиса, появляются сообщества следующей стадии деградации лесов — гарига.

Г а р и г а получила название от местного обозначения кустарниковой формы кермесового дуба. В Греции и на Ближнем Востоке эту формацию еще называют фриганой, которая занимает сухие каменистые участки местности. В основном она представлена низкорослыми (до 1 м высотой) вечнозелеными кустарниками и полукустарниками, многие виды которых испускают запах (лаванда, розмарин, шалфей мускатный).

Весьма богат животный мир Средиземноморья. В этой зоне водятся дикий козел, косуля, гиена, шакал; из птиц — дрозд, фламинго, гриф, черный лебедь и др. Фауна Южного Крыма содер-

жит значительное количество видов средиземноморского происхождения. К ним относятся летучие мыши, грифы; из рептилий — крымская ящерица, леопардовый полоз; из насекомых — цикады, богомол, москиты.

В СССР средиземноморская зона имеет большое народнохозяйственное значение. В ней возделывается чайный лист, развито субтропическое плодоводство и виноградарство. Эта зона является крупнейшим в стране курортным районом.

Зона пустынь. К пустыням относят территории с предельно засушливым климатом (осадков менее 200 мм) и нерегулярным выпадением осадков. Аридные земли занимают 33—36% площади суши планеты, а в СССР — около 11% его территории. Пустыни подразделяются на тропические, субтропические и умеренные, последние два типа характерны для СССР. В пустынях Намиб и Атакама осадки почти не выпадают, поэтому увлажнение происходит исключительно за счет туманов. Над пустынями небо почти всегда безоблачно, что приводит к резким колебаниям температуры в течение суток. В пустынях преобладают серо-бурые и сероземные, засоленные типы почв с весьма малым содержанием гумуса.

В таких экстремальных условиях растения для своего существования выработали разнообразные приспособления. Адаптация у ксерофитов предусматривает экономное расходование воды при активной сосущей способности корней. Корни этих растений глубоко проникают в грунт. Многометровые корни имеют такие растения, как верблюжья колючка, саксаул, джузгун. У пустынных травянистых растений подземная часть составляет 80—95% фитомассы.

Многие пустынные растения (солянки, саксаул) в течение лета, по мере ухудшения условий влагообеспечения и возрастания водного дефицита, сокращают площадь поверхности транспирации, сбрасывая часть листьев. Характерны такие жизненные формы растений, как эфемеры, которые не выносят обезвоживания. Поэтому они сокращают свой вегетационный период до 60—100 дней и могут существовать лишь в относительно влажное время года (ранняя весна и теплая зима).

В песчаных пустынях встречаются псаммофиты — многолетние растения, имеющие приспособления против засыпания их песком. К ним относятся многие однолетние злаки, осока песчаная, бобовые, маревые, крестоцветные и др. В пустынях широко развиты засоленные типы почв, на которых могут существовать лишь галофиты (белый саксаул, солянки, сарсазан, солерос, лебеда и др.), выдерживающие значительную степень засоления почв. Галофиты, чтобы противостоять неблагоприятным условиям высокой концентрации солей в окружающей среде и поглощать из грунта воды с растворенными в них питательными веществами, вынуждены в своих тканях создавать исключительно высокое осмотическое давление. И наконец, в пустынях встречаются суккуленты — растения, способные накапливать необходимую влагу

в листьях, стволах и подземных органах (кактусы, алоэ). Так, в североамериканской пустыне Сонора гигантский канделябровидный кактус (высотой до 10—12 м) способен накопить до 3000 л воды и существовать без пополнения ее запасов более года.

Во всех пустынях земного шара преобладающими видами растений являются представители маревых, крестоцветных, сложноцветных, бобовых, парнолистниковых, гречишных и др. Наиболее характерными формациями, встречающимися в различных пустынях, служат полынные, солянковые, сочносолянковые, псаммофитные и др. В Сахаре обнаружено около 450 видов цветковых растений из вышеуказанных семейств. Каменистые пространства Сахары и других пустынь мира почти лишены растительности. Так, в центральных частях пустынь Такла-Макан и Гоби часто на площади 100 м² трудно даже встретить 1—2 растения, а щебнистые слабозасоленные пространства центра Гоби практически лишены растительного покрова. Биомасса растений в пустынях составляет 15—20 ц/га.

Флора пустынь СССР небогата, но по количеству видов превышает численность растений других аридных районов. Флора равнинных пустынных пространств представлена в песчаных пустынях Турана — 536 видами, Западных Каракумах — 1141, Юго-Западных Кызылкумах — 533, Кзыл-Ординской области — 819, Южном Устюрте — 259 видами.

Ведущую роль в ландшафтах пустынь играют полынно-солянковые и полынные сообщества с участием различных видов полыней, биюргунов, верблюжьей колючки и др. На засоленных почвах встречаются боялыч, сарсазан, кокпек, солерос, лебеда. В южных пустынях СССР значительные территории занимают песчаные массивы. На песках обитают эфемеры, кустарнички, древесные породы и почти весь набор пустынных жизненных форм. В песчаных пустынях долго живут и медленно растут саксаулы — белый (до 50 лет) и черный (до 100 лет). К типичным представителям животного мира песчаных пустынь относятся тушканчики, суслики, вараны, степные удавчики, ящерицы, змеи, насекомые, а из крупных животных — джейраны, куланы.

На территории пустынь обнаружены важные полезные ископаемые. Открыты запасы нефти, природного газа. Во многих странах уже проводятся работы по разработке научных основ рационального использования природных ресурсов пустынь. Намечен и претворяется в жизнь ряд мероприятий по борьбе с «наступлением пустынь» путем их озеленения в связи с искусственным орошением.

Зона тропических саванн. Эта зона особенно обширна в Африке, в Южной Америке и на северо-западе Австралии. Характерна отчетливая смена сухого и влажного периодов. Саванна — это тропического типа травянистая растительность, которая отличается от степей присутствием ксерофильных низкорослых, редко стоящих деревьев. Основной фон саванны создают жестколистные злаки, с которыми вместе сосуществуют деревья, вынужденные

приспосабливаться к уменьшению транспирации влаги. Поэтому древесные породы имеют длинную корневую систему, достигающую 50 м, а у африканской акации даже 68 м. Корни акации способны проникать даже через каменистые и скалистые субстраты, чтобы из них извлечь необходимую влагу. Многие виды деревьев приобретают зонтиковидную форму кроны для уменьшения испарения влаги. Совершенно по-другому ведут себя травянистые растения. Злаки не изменяют транспирацию, а выгорают в засушливый период. Их листья отмирают, а корневые системы и почки возобновления хорошо защищены от высыхания.

В Западной Африке значительные пространства занимают влажные саванны, в которых высота злаков достигает 2—5 м. В типичных сухих саваннах (саванные леса) высота злаков намного меньше, часто встречаются баобабы — мощные листопадные деревья, имеющие высоту до 25 м и более при поперечнике ствола 10 м и даже более. По данным радиоуглеродного метода их возраст может достигать 5000 лет. Баобаб является типичным суккулентом, как и бутылочное дерево в Австралии. Подсчитано, что африканский баобаб при общей высоте 20 м и обхвате ствола около 20 м может иметь запас воды, хранящийся в его мягкой древесине, превышающий 120 000 л. Семена баобаба содержат до 15% жира, их, как и мякоть плода, едят, а молодые листья употребляют в пищу как овощи.

Для Австралии характерны светлые саванные леса, представленные в основном эвкалиптами с примесью акаций, банксии, казуарины. Большие пространства заняты густыми зарослями ксерофильных кустарников, так называемым бригелоу-скрабом, с участием акаций. В льяносах бассейна Ориноко, хотя здесь выпадает более 1000 мм осадков в год, присутствие в почвенном горизонте затвердевших слоев латерита не позволяет произрастать древесным породам. Фон составляют различные злаки с редкими рощами пальм.

Биомасса в саванне составляет 500—1500 ц/га при годовом приросте 80—300 ц/га.

Животный мир саван очень богат и разнообразен. Взаимодействия между растительным покровом саванн и ее обитателями показаны на рисунке 27. В саваннах, как и в других растительных формациях, ведущую роль в утилизации отмершей растительной массы играют термиты. Число термитников в африканских саваннах достигает 2000 на 1 га, при этом форма их в основном башневидная. В саваннах доминируют виды термитов (термиты-жнецы), которые потребляют живую растительную массу, предварительно высушенную в особых кладовых. Помимо термитов, переработкой детрита также занимаются тараканы, сверчки, жуки, дождевые черви, наземные моллюски. Среди потребителей зеленой массы растений в саваннах представлены и различные насекомые: личинки (гусеницы) бабочек, жуки-фитофаги — хрущи, листоеды, златки, муравьи, цикады и др. Также в этой трофической группе наиболее многочисленны саранчовые.

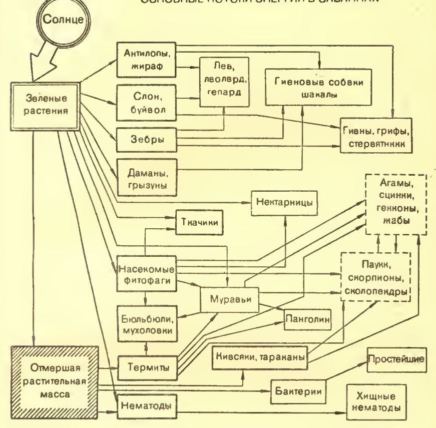


Рис. 27. Основные потоки энергии в саваннах (по *А. Г. Воронову* и др.)

Для злаковых саванн характерны крупные нелетающие птицы — страусы. Африканский страус имеет высоту до 2,7 м и массу до 90 кг. В саваннах Австралии живет более мелкий страус эму ростом до 1,7 м, а в Южной Америке — нанду (до 1,5 м). Зеленые части растений и семена используют в пищу различные грызуны (крысы, земляные белки, песчанки). Наибольшее воздействие на растительный покров саванны оказывают крупные травоядные животные. В саваннах Африки общее число копытных превышает 70 и бóльшую их часть составляют антилопы. Встречаются белый носорог (масса крупных самцов может достигать 5 т) и его ближайший родич — черный носорог. В саваннах Австралии функцию копытных выполняют крупные кенгуру, причем масса этих животных, имеющих в длину до 2 м, не считая почти метрового хвоста, достигает 100 кг и более. Питаются они в основном травянистыми растениями.

Крупные четвероногие хищники саванн кочуют за стадами антилоп, совершая вместе с ними сезонные миграции. Львы охотятся на крупных антилоп и зебр, гепарды — на мелких антилоп Томсона. Гиеновые собаки применяют групповой способ преследования, с помощью которого можно загонять даже крупных копытных — зебр и антилоп гну. Подобные методы охоты в африканских саваннах применяют пятнистые гиены и шакалы. В саваннах Южной Америки обитают гривистый волк и лисица.

Особенно богат и своеобразен животный мир тропических саванн Африки. Чехословацкий естествоиспытатель Йозеф Вагнер приводит весьма любопытные факты о животных-рекордсменах саванн Африки.

1. Самое крупное сухопутное млекопитающее — *африканский слон:* средний рост достигает в холке 3,2 м, масса — 5,7 т.

2. Самые длинные *бивни слона* были найдены в Заире. Они хранятся в Зоологическом обществе Нью-Йорка: правый бивень — 3,49 м, левый — 3,55 м.

3. Самое высокое млекопитающее — *жираф,* самый крупный экземпляр был убит в Кении в 1930 г., его рост составлял 5,86 м.

4. Самый длинный рог у *носорога* — 158 см, принадлежал самке белого носорога, убитой в Южной Африке в 1848 г.; длина второго внутреннего рога составляла 57 см.

5. Самый тяжелый *лев* был убит в 1936 г. в Африке; он весил 313 кг, при этом средняя масса взрослого льва — 181—185 кг.

6. Самое быстрое сухопутное животное в беге на короткие дистанции (до 500 м) — *гепард,* который развивает скорость до 90 км/ч.

7. Самая крупная *антилопа — канна.* Эта редкая антилопа живет в Западной и Центральной Африке; ее масса 1000 кг, высота в холке — 178 см.

8. Самая маленькая *антилопа — карликовая* — обитает в саваннах Западной Африки; высота взрослых животных в холке — всего 25—31 см, а масса — 3—3,6 кг.

9. Самые крупные птичьи яйца откладывает *африканский страус:* в среднем их длина достигает 15—20 см, диаметр — 10—15 см, а масса — 1,6—1,7 кг.

Под влиянием деятельности человека, особенно связанной с интенсивным выпасом скота, происходит процесс трансформации сообществ саванн. Это приводит к неумеренному разрастанию кустарников, которое в засушливых тропических областях земного шара происходит в огромных масштабах. Преимущественное распространение получают колючие кустарники, в частности в Африке — различные виды акаций. Местное население для уничтожения кустарников применяет огневую чистку, т. е. палы, которые иногда в засушливых районах приводят к снижению продуктивности растительного покрова.

Влажные экваториальные леса. Эти леса произрастают в оптимальных условиях влажности и температурного режима, обеспечивающих максимальную продуктивность растительности. Это

царство вечнозеленых и листопадно-зеленых лесов, называемых также влажными тропическими или, по А. Гумбольдту, гилеями (от греч. «лес»). Эти леса занимают в основном бассейны Амазонки и Конго, побережье Гвинейского залива и Индо-Малайскую область. Климатические условия экваториальных и тропических лесов характеризуются ровным годовым ходом температур; атмосферных осадков выпадает до 3000 мм и более. Обилие осадков способствует вымыванию легко растворимых элементов из почв, в результате чего происходит относительное обогащение почв полуторными окислами железа и алюминия. Все это содействует образованию так называемых ферралитных почв (красноземов), для которых характерен кирпично-красный цвет, обусловленный обильным содержанием окислов железа.

Влажные экваториальные леса являются одним из самых богатых типов растительности на земном шаре (более 50 000 видов). Биомасса экваториального леса достигает 10 000 ц/га (в бассейне Амазонки до 17 000) при годовом приросте до 500 ц/га. Господствующим компонентом ландшафта являются деревья, составляющие около 70% всех встречающихся видов высших растений. В гилеях Амазонки можно встретить на площади 1 га 50—100 видов деревьев.

Для экваториальных лесов характерна многоярусная структура (до 4—5 ярусов). Верхний древесный ярус образован наиболее высокими, до 50—60 м, деревьями, кроны которых не смыкаются (красное дерево, шерстяное дерево, гевея бразильская и др.). Средний ярус (высотой до 20—30 м) образуют деревья, кроны которых имеют сомкнутый полог. Степень развития нижнего древесного яруса зависит от освещенности, его составляют деревья высотой в среднем до 10 м. Ниже иногда выделяют кустарниковый ярус и ярус, образованный травами и сеянцами деревьев. Флора изобилует многими полезными видами: шоколадное дерево (какао), сметанное дерево, ананас, дынное дерево, синий сандал, леопардовое дерево, бразильское красное дерево (по названию «пау-бразил» получила название страна), бальзовое дерево и др. Для большинства деревьев характерны прямые, колоннообразные стволы; у некоторых видов около оснований стволов образуются досковидные корни, которые придают деревьям большую устойчивость на сырых почвах.

Замечательной особенностью влажных экваториальных лесов является образование цветков на стволах и безлистных участках ветвей. Это явление наблюдается прежде всего у деревьев нижнего яруса леса, что связано с опылением их цветков насекомыми и летучими мышами. Также для этих лесов характерны эпифиты, представленные разнообразными лианами. Из 20—25 тыс. орхидей большинство являются эпифитами, которые для получения влаги и питательных веществ имеют специальные органы — утолщенные участки побегов, запасающие воду и растворенные в ней питательные вещества. Лианы с помощью цепляющихся побегов, шипов, колючек или особых выростов типа

крючков могут удерживаться на других растениях. Типичным представителем служат пальмы-ротанги, достигающие иногда длины до 300 м, а также многочисленные виды папоротников. Деревья в гилеях могут цвести и плодоносить непрерывно в течение года или периодически, несколько раз в году.

Животный мир влажных экваториальных лесов отличается таким же богатством и разнообразием, как и растительные сообщества. В соответствии с вертикальной структурой растительности животные распределяются по ярусам (почвенный, подстилочный, наземный, серия древесных ярусов).

Ведущей группой сапрофагов являются термиты, которых только в лесах Африки обитает около 600 видов. Во влажном тропическом лесу термитников на 1 га насчитывается до 800—1000, а количество термитов может достигать 10 000 особей на 1 м^2. Термиты играют важную роль в переработке и минерализации растительного опада, переводя его в минеральные соединения, доступные для усвоения зелеными растениями. В этом процессе также участвуют нематоды, клещи, жуки, насекомые и др.

Большую группу потребителей зеленой массы, цветков и плодов деревьев образуют обезьяны (колобусы, мартышки, гиббоны, орангутаны), древесные сумчатые и различные лемуры. В гилеях копытные немногочисленны: лесная свинья, антилопа бонго, карликовый бегемот. Обильны различные змеи, особенно древесные (удав, питон, гадюки); в водоемах Амазонки живет самая крупная в мире змея — анаконда, достигающая рекордной длины — 11 м, которая питается черепахами, молодыми крокодилами, птицами. Крупные хищники представлены кошачьими: ягуар, оцелот, леопард. Обильны птицы, но среди них особого внимания заслуживает колибри, о которой А. Уоллес (1823—1913) писал, что «она является образцом великолепия и пышности тропической природы».

Высотная поясность. При подъеме в горы понижается температура воздуха, снижается испаряемость, усиливаются ультрафиолетовая радиация, освещенность и др. Все это заставляет растения приспосабливаться к сухой или влажной и холодной среде. Здесь доминируют среди растений подушкообразные жизненные формы, многолетники, у которых выработана адаптация к сильной ультрафиолетовой радиации и снижению транспирации. Растительность горных стран более богата, чем на прилегающих равнинах, и характеризуется повышенным распространением эндемичных форм. По данным О. Е. Агаханянца, флора Кавказа насчитывает 6350 видов, из которых 25% эндемичны. Флора гор Средней Азии оценивается в 5500 видов, из них 25—30% эндемики, в то время как на прилегающих равнинах южных пустынь насчитывается 2000 видов растений.

Подобно широтной зональности, высотная поясность может быть двух основных типов: океанического (Хибины, горы Камчатки, Курил, Сахалина и др.) и континентального (Крым, Кав-

каз, Алтай, Саяны и др.). Иногда выделяют группу ультраконтинентальную (внутренний Тянь-Шань, Памир).

В таблице 18 представлена схема высотной поясности Крымских гор, где видно различие при сравнении поясности Северного и Южного склонов. Если северные предгорья заняты лесостепями, то нижний пояс Южного склона представлен можжевеловыми и дубовыми лесами, в которых участие средиземноморских видов достигает 80%. На яйлах развиты лугостепи, представленные сообществами типчака, осоки степной, чабреца.

Таблица 18

Схема высотной поясности Крымских гор (м над уровнем моря)
(по *О. Е. Агаханянцу*)

Высотные пояса	Северный склон	Южный склон
Лугостепи яйлы	выше 1300	выше 1300
Буковые леса	700—1300	950—1300
Сосновые леса	—	400—950
Дубовые леса	350—700	—
Можжевеловые и дубовые леса и кустарники	—	0—400
Лесостепи	150—350	—

Интересно изменение высотной поясности на Большом Кавказе при движении с запада на восток (табл. 19). Различия связаны с возрастанием аридности климата. Поэтому в Дагестанской части Большого Кавказа поясность начинается от степей и полупустынь из бородача, ковылей, солянок. В восточной части Кавказа выпадают пояса широколиственных и хвойных лесов, которые хорошо представлены в западной и центральных частях. Таким образом, структура высотной поясности прежде всего зависит от положения гор в той или иной географической зоне и от высоты самих горных сооружений.

Таблица 19

Схема высотной поясности Большого Кавказа (м над уровнем моря)
(по *О. Е. Агаханянцу*)

Высотные пояса	Западная и Центральная части	Восточная часть — Дагестан
Низкотравные луга	2400—3300	2600—3000
Высокотравные луга	2200—2400	2400—2600
Хвойные леса	1400—2200	—
Хвойные редколесья	—	2000—2400
Лиственные аридные редколесья	—	800—2000
Широколиственные леса	800—1400	—
Лесостепи	200—800	—
Степи и полупустыни	—	0—800

Своеобразен животный мир высокогорных районов. Пониженное давление воздуха, значительная солнечная радиация, резкие колебания дневных и ночных температур, изменение влажности воздуха с высотой требуют специфических физиологических адаптаций организма горных животных. В частности, увеличивается относительный объем сердца, возрастает содержание гемоглобина в крови, что позволяет более интенсивно поглощать кислород из воздуха. Каменистый грунт осложняет или почти исключает норовую деятельность животных. Многие мелкие животные (пищухи, ящерицы, мелкие грызуны) находят себе убежища в расщелинах скал, в пещерах. Из птиц для горных районов характерны горные индейки (улары), жаворонки, горные вьюрки, а также крупные птицы — грифы, бородачи, кондоры. Из крупных млекопитающих в горах обитают козлы, бараны, серны, яки, снежные козлы, а в Южной Америке — безгорбые верблюды гуанако и викуньи. Хищники представлены такими видами, как волки, лисицы, рыси, медведи, снежный барс (ирбис) и др.

Пресноводные формации. К наземным экосистемам относятся пресноводные формации, среди которых выделяют стоячие (озера, пруды, водохранилища, болота) и проточные (источники, ручьи, реки). Проточные водоемы имеют пресную воду, а соленость стоячих водоемов может резко различаться как по составу, так и по количеству солей. Жесткость воды — содержание углекислого кальция — также является регулирующим фактором, одни из обитателей водоемов, например пресноводные губки и мшанки, предпочитают жесткую воду, другие — моллюски — мягкую. Движения воды в стоячих водоемах незначительны, а в проточных сильно отличаются друг от друга по скорости течения, начиная с быстротекущих горных ручьев и рек и кончая равнинными водотоками с очень слабым течением.

Среди обитателей водоемов различают *реофильных* (обитающих в быстрых реках) и *лимнофильных* (связанных со стоячими водами). Первые виды обладают приспособлениями, позволяющими им преодолевать быстрое течение: сильной мускулатурой, способностью прикрепляться к субстрату (многие беспозвоночные) и обтекаемой формой тела у рыб. Лимнофильные виды рыб характеризуются телом, сильно уплощенным с боков. Условия существования организмов в проточных водах на всем протяжении неодинаковы, что увеличивает разнообразие обитателей этих вод.

В стоячих водоемах органическая жизнь богата: хорошо развит планктон, а на илистых грунтах — бентос. Фитопланктон озер обычно составляют диатомовые и перидиниевые водоросли. Среди зоопланктона встречаются инфузории, коловратки, ракообразные и др. Многие ценные породы рыб (окуни, карпы, сиги) питаются исключительно низшими ракообразными (веслоногие рачки — дафнии). Фитопланктон и особенно бактерии пресноводных водоемов принимают активное участие в их самоочищении, разлагая остатки водорослей и животных.

Необычайным разнообразием и своеобразием фауны и флоры отличается Байкал, в котором сосредоточено 20% всех мировых запасов пресной воды и более 80% запасов нашей страны. Известно около 2400 видов животных и растений, причем более 70% обитателей Байкала — это эндемики, которые нигде больше не встречаются. В Байкале 52 вида рыб, среди которых знаменитый омуль и живородящая рыбка голомянка. В озере живет треть всех известных видов рачков-бокоплавов, половина всех видов моллюсков, обитающих в водоемах СССР. Пелагические рачки (эпищура), питаясь фитопланктоном, сами в свою очередь являются кормовой базой для многих рыб. Эти рачки в естественных условиях прекрасно очищают байкальскую воду (прозрачность воды достигает 40 м).

Соленые озера аридных областей имеют обычно небольшое количество видов растений и животных, что связано с высокой концентрацией солей.

Для лучшего понимания особенностей развития пресноводных формаций следует рассмотреть экосистему пруда (рис. 28). Она представлена двумя типами растений, которые осуществляют фотосинтез: высшими растениями (рдест, кувшинка, желтая кубышка, рогоз, тростник) и водорослями планктона (зеленые, сине-зе-

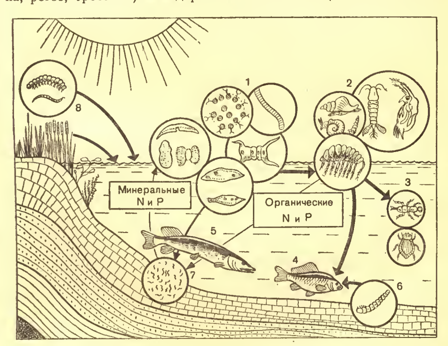


Рис. 28. Биоценоз пруда средней полосы (по *П. Дювиньо* и *М. Тангу*, с изменениями): 1 — фитопланктон; 2 — зоопланктон; 3 — жуки-плавунцы (личинки и взрослые особи); 4 — молодые карпы; 5 — щуки; 6 — личинки хирономид; 7 — бактерии; 8 — насекомые прибрежной растительности

леные, диатомовые). Этими группами растений питаются растительноядные животные, прежде всего зоопланктон (ракообразные, бокоплавы) и травоядные рыбы. Последние в свою очередь становятся добычей хищников первого порядка (карпы), часть из которых попадает в корм хищникам второго порядка (щуки). Некоторые сухопутные растительноядные организмы (гусеницы), попадая в воду, служат пищей для водных хищников. Погибшие растения поедаются личинками комаров-хирономид, а последними питаются карпы. Окончательное разложение органического вещества осуществляют бактерии.

Биологическая продуктивность достаточно богатых и хорошо аэрированных водоемов (прудов) составляет 350 г/м² в год, что в несколько раз превышает среднюю продуктивность Мирового океана. Подсчитано, что в стоячих водоемах годовая продукция достигает 100 кг/га. Во многих странах, особенно в СССР, успешно разводят растительноядных рыб — карпов. Во Франции в прудах получают урожаи, превышающие 60 кг/га в год, а в прудах и озерах Канады урожаи форели за год достигают 105—187 кг/га.

Рассмотренные особенности распределения живого вещества на поверхности материков и основные биогеоценозы земного шара указывают на неравномерность в заселении организмами пространства биосферы. Однако многообразие видов живых организмов, по В. И. Вернадскому, поддерживает устойчивость биосферы.

Глава VI

ОБЩИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ В ПРЕДЕЛАХ БИОСФЕРЫ

...Мы отнюдь не властвуем над природой... все наше господство над ней состоит в том, что мы... в отличие от всех других существ, умеем познавать ее законы и правильно их применять.

Ф. Энгельс

С гениальной прозорливостью В. И. Вернадский, основоположник учения о биосфере, предвидел научно-техническую революцию XX в. со всеми ее последствиями для биосферы. Действительно, в последние десятилетия масштабы влияния хозяйственной деятельности человека на природную среду стали поистине гигантскими, не учитывающими потенциальные возможности биосферы вообще. Множество действий, совершаемых человеком, иногда приводящих к катастрофическим последствиям, происходит именно от непонимания взаимообусловленности всех природных явлений. Особенно резко это сказалось при интенсивном использовании природных ресурсов.

Широкую известность получил пример, приводимый Ф. Энгельсом в работе «Диалектика природы»: «Людям, которые в Месопотамии, Греции, Малой Азии и в других местах выкорчевывали леса, чтобы получить таким путем пахотную землю, и не снилось, что они этим положили начало нынешнему запустению этих стран, лишив их, вместе с лесами, центров скопления и сохранения влаги». Именно в познании закономерностей развития биосферы и лежит ключ к разумному природопользованию. Методологической основой охраны природы является положение диалектического материализма о всеобщей взаимосвязи и взаимозависимости предметов и явлений в природе и обществе.

Большой вклад в познание закономерностей формирования и развития в целом географической оболочки Земли внесли советские географы: А. А. Григорьев, Л. С. Берг, К. К. Марков, Н. А. Солнцев, А. Г. Исаченко и др. Стройную концепцию учения о географической оболочке земного шара создал С. В. Калесник (1901—1977). Им четко сформулированы важнейшие закономерности развития географической оболочки: целостность, круговороты веществ, ритмические явления, зональность и азональность, полярная асимметрия. В основу его положений взята идея о целостности природы, а отдельные компоненты географической оболочки рассматриваются с точки зрения их роли в формировании

биосферы как единого целого. Такие закономерности и надо понимать как общие географические, поскольку они действуют в пределах всей биосферы, оказывают влияние на каждый из ее компонентов и проявляются в любой ее части, в любом природно-территориальном комплексе.

Изложение общих географических закономерностей дано в такой последовательности, как оно предусмотрено в школьных курсах физической географии, а именно целостность, круговорот веществ, ритмичность процессов, географическая зональность. Изучение закономерностей играет исключительную роль в решении образовательных и воспитательных задач обучения. Формируя в сознании школьников представления о целостности биосферы как единой планетарной системы со всеми сложными взаимосвязями как компонентов, мы тем самым подводим их к основному положению диалектики — учению о всеобщей связи в окружающем мире.

Целостность географической оболочки. С. В. Калесник писал, что целостность географической оболочки настолько велика и носит всеобщий характер, что стоит измениться одному компоненту, сопряженно начнут меняться и все остальные. Каждый компонент (горные породы, рельеф, воздушные массы, почвы, растения, животные) развивается по своим собственным законам, но ни один из них не существует изолированно, не испытывая на себе влияния других компонентов и, в свою очередь, не оказывая на них никакого воздействия. Ранее были подробно охарактеризованы взаимоотношения между различными компонентами оболочки, а также типы живых организмов и их тесная связь с окружающей средой. По степени консервативности компоненты можно расположить в такой убывающий ряд: литосфера — рельеф — климат — воды — почва — растительность — животный мир.

Целостность и взаимосвязь компонентов географической оболочки Земли существовали всегда, не только в современную эпоху, но и в геологическом прошлом. Особенно четко подобные связи установлены для четвертичного периода (плейстоцен), когда формирование материковых ледниковых покровов вызывало значительное понижение уровня всего Мирового океана (на 100—110 м). Это понижение уровня океана сказалось на природе всей поверхности Земли: произошло осушение шельфа, материки и острова получили другие очертания, возникли «континентальные мосты», по которым происходила миграция сухопутных фауны и флоры, и т. д. Во всех речных системах земного шара наблюдалась интенсификация глубинной эрозии. В теплые межледниковые эпохи материковые льды растаяли, что привело к значительному повышению уровня океана. Это вызвало затопление шельфа, разобщение материков и островов, ограничило миграцию наземных растений и животных. Подсчитано, например, что при полном таянии льдов Антарктиды повышение современного уровня океана составило бы 62 м.

Особенно показателен пример пустыни Атакамы и течения Эль-Ниньо. Атакама — одна из прибрежных пустынь Южной Америки с экстрааридным климатом. Пустынность ее обусловлена влиянием холодного Перуанского течения. Осадки выпадают далеко не ежегодно, и их общее количество составляет от 10 до 50 мм в год. В прибрежной зоне Тихого океана обильны водоросли и рачки, которыми питается рыба, которую, в свою очередь, потребляют многочисленные птицы (бакланы, пеликаны и др.). Но иногда эта биологическая цепочка разрывается...

Изменение только одного фактора — смена холодного течения теплым — влечет за собой взаимосвязанную перемену всех составляющих элементов природного ландшафта, что соответствует закону целостности. Примерно раз в 8—12 лет, обычно в феврале — марте, когда ослабевает юго-восточный пассат, а значит, и Перуанское холодное течение, от экватора начинает распространяться эпизодическое теплое течение Эль-Ниньо (от испанского «младенец»). Особенно катастрофический характер эти изменения носили в 1925, 1951, 1967, 1972, 1982 гг. В этом небольшом районе Мирового океана в отдельные годы вылавливалось более 12 млн. т анчоусов. В 1972 г. во время прихода Эль-Ниньо уловы упали вдвое, а в 1973 г. было выловлено всего 1,8 млн. т. Это стало экономической катастрофой для ряда стран, связанных с промыслом анчоусов.

Чем же была вызвана подобная катастрофа?

Приход теплых малопродуктивных вод, бедных фауной, оказывает катастрофическое влияние на экосистему прибрежных районов. В 1982 г. температура поверхности вод океана во время прихода Эль-Ниньо превысила средние многолетние значения на 8—10°. В этот период почти полностью из прибрежных районов исчезли анчоусы, за ними гибли или улетали многочисленные птицы, которые питаются рыбой. Подсчитано, что 5 млн. птиц ежедневно потребляют около 1000 т анчоусов. Во время прихода Эль-Ниньо в 1957 г. численность птиц упала с 27 до 6 млн. С побережий улетают птицы, формирующие знаменитые залежи гуано, местами покрывающие берега 50-метровым слоем. Долгое время гуано было основным минеральным удобрением и экспортировалось во многие страны мира. В теплых водах иногда возникают вспышки развития некоторых водорослей (динофлягеллят), весьма ядовитых для окружающей фауны. Это так называемый «красный прилив», который еще более усугубляет катастрофическое влияние Эль-Ниньо.

Над пустыней Атакама разражаются тропические ливни. В марте 1925 г. здесь выпало 390 мм осадков. По данным К. Н. Федорова, участвовавшего в экспедиции в этом районе Тихого океана на научно-исследовательском судне «Академик Курчатов», в феврале 1982 г. ливневые дожди в Перу вызвали наводнения на равнинах и большие оползни в горах. Обилие осадков приводит к тому, что в Атакаме появляются растения-эфемеры и масса насекомых. Коренным образом меняются природные

ландшафты побережий. Местное население остается без средств к существованию, так как прекращается лов рыбы, закрываются карьеры по добыче залежей гуано. Такое состояние продолжается 3—4 месяца, иногда и более 5, после чего теплое течение Эль-Ниньо отодвигается к северу, в район Галапагосских островов, а холодное Перуанское течение занимает свое обычное место. И все природные процессы начинают развиваться в обратном направлении: подъем глубинных вод (зона апвеллинга), богатых кислородом и питательными веществами, ведет к обильному размножению фитопланктона (поэтому появляются анчоусы), затем прилетают многочисленные птицы, выгорает растительность, улетают насекомые и т. д., т. е. пустыня Атакама в конечном счете приобретает свой обычный вид. Все это показывает важность целостности географической оболочки при решении практических вопросов рационального природопользования и охраны окружающей среды.

Академик И. П. Герасимов в своей последней книге «Экологические проблемы в прошлой, настоящей и будущей географии мира» подробно рассмотрел ряд экологических проблем, которые человек создал при «очевидной нехватке научных знаний об основных закономерностях окружающей природной среды, физической сущности природных процессов и динамике их изменений, вызванных антропогенными факторами». Человек допустил много просчетов, поэтому и появились такие проблемы (Каспийское море, залив Кара-Богаз-Гол, Приаралье и многие другие). Особенно остро в настоящее время стоит проблема Аральского моря, уровень которого понизился более чем на 13 м. Если в 60-х гг. среднеазиатские реки поставляли в Арал около 60 км^3 воды ежегодно, то в последние годы Сырдарья уже не впадает в море, а сток Амударьи колеблется от 0 до 10 км^3. Поэтому соленость аральских вод возросла вдвое и повысилась до 22‰. Объем вод Арала сократился на 600 км^3, и от воды освободился участок суши площадью более 20 000 км^2. Такое снижение уровня водоема привело к кардинальной перестройке природных ландшафтов окружающих территорий, имеющих тенденцию прогрессирующего их опустынивания. В почвах в огромном количестве стали накапливаться легкорастворимые соли; сульфаты и хлориды оказались весьма ядовитыми для растений и животных. По данным космических снимков, площадь распространения и осаждения пылевых частиц достигла 250 000 км^2, и вообще к 2010 г. Арал может исчезнуть, что грозит одной из самых серьезных экологических катастроф современности.

Все это показывает, как антропогенный фактор — чрезмерное развитие ирригации — может полностью разрушить экосистему Аральского моря. Для выработки мероприятий по предотвращению отрицательных последствий снижения уровня Аральского моря на природную среду Приаралья сейчас собраны силы многих академических институтов, ведомственных учреждений и организаций. Совершенно необходимо уменьшить масштабы и темпы

антропогенного опустынивания Приаралья и стабилизировать уровень Арала в будущем.

Круговорот веществ. Не менее важной закономерностью развития географической оболочки и соответственно биосферы является круговорот веществ — многократное участие веществ в различных процессах. Это и система течений в океане, циркуляция атмосферы, круговорот воды, биологические круговороты и др. С биогеохимическими циклами связана миграция углерода, азота, кислорода, серы, фосфора и других элементов, что было подробно описано в III главе. Для того чтобы биосфера продолжала существовать, чтобы на Земле не прекращалась жизнь, постоянно должны происходить непрерывные химические превращения ее живого вещества. Иными словами, после использования одними организмами вещества должны переходить в усвояемую для других организмов форму. Такая циклическая миграция веществ и химических элементов может осуществляться только при определенных затратах энергии, источником которой является Солнце.

Как уже отмечалось, одним из важнейших процессов в биосфере является круговорот воды, при этом активность водообмена в различных скоплениях природных вод неодинакова. Наиболее замедленной частью круговорота воды является деятельность полярных ледников, а наибольшей активностью и, следовательно, быстрой возобновляемостью характеризуются речные воды, которые сменяются в среднем каждые 11 дней. Однако рост населения, интенсивное развитие сельского хозяйства и промышленности привели к резкому увеличению водопотребления, что стало оказывать существенное влияние на хозяйственное звено круговорота воды. Наибольшее количество воды расходуется на орошение и промышленно-энергетические нужды (табл. 20). С каждым годом увели-

Таблица 20

Водопотребление по континентам и отдельным странам на 1975—1977 гг.
(по *И. А. Шикломанову*)

Континент, страна	Промышленность (км³)	Орошение: площадь (млн. га)	Орошение: водопотребление (км³)	Хозяйственно-бытовое потребление (км³)	Всего (км³)
Африка	6	10	120	6	170
Азия	80	187	1500	50	1000
Австралия и Океания	10	1,8	14	1,5	30
Европа	185	24	150	36	380
СССР	83	14	181	14	290
Северная Америка	340	27	230	46	640
США	305	21	181	42	540
Южная Америка	12	8	60	7	90
Всего	630	260	2100	150	3020

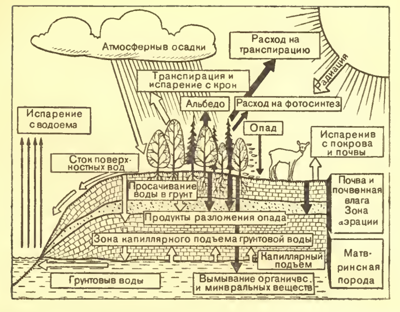


Рис. 29. Схема взаимодействий в биогеоценозе (по *А. А. Молчанову* и *Н. В. Дылису*)

чивается безвозвратное водопотребление, а также возрастают потери воды на испарение с поверхности водохранилищ. Подсчитано, что к 2000 г. водопотребление в мире увеличится примерно в 1,6 раза, а безвозвратное — в 1,5 раза. Причем около 70% безвозвратного водопотребления будет приходиться на долю Азии, где располагаются основные орошаемые площади на земном шаре.

Особую роль в биосфере играют биологические круговороты (рис. 29), где важнейшим процессом является фотосинтез. Перенос вещества и энергии осуществляется затем посредством пищевых цепей. Из внешней среды элементы поступают в тела организмов, и в процессе жизнедеятельности идет возвращение их в почву, воду и атмосферу с ежегодным опадом части органического вещества или с полностью отмершими организмами, входящими в состав биоценоза.

Химический состав почвы, ее влажность и физические свойства оказывают влияние на рост, развитие древесных пород и на их возобновляемость. В свою очередь, растительность в сильной степени воздействует на почву, определяя качество и количество органического вещества в ней, влияя на физико-химические ее особенности. Между почвой и растительностью все время происходит обмен минеральными веществами — из различных горизонтов почвы в надземные части растений, а затем возвращение в почву в виде растительного опада. Разложение подстилки протекает с различной скоростью в зависимости от местообитания, вре-

меии года и вида растений. Так, распад листьев ольхи, ясеня длится около 1 года, липы н клена — 2 года, ели и бука — 3 года, а сосны — более 3 лет. Особую роль в преобразовании подстилки играют различные микроорганизмы (аэробные, азотфиксирующие и другие бактерии, грибы, вирусы). В процессе этого разложения из органических остатков высвобождается или сннтезируется заново ряд соединений, пригодных для построеиия тканей молодых развивающихся оргаиизмов. Благодаря разносторонней деятельности микроорганизмов оказывается возможным миогократиое участие в биологическом круговороте одних и тех же химических элемеитов. Деятельиость микроорганизмов имеет существенное зиачение для почвообразовательного процесса, отличаясь исключительным дииамизмом во времени и в пространстве.

Важиым показателем интенсивности биологического круговорота является скорость обращения химических элементов. Отношеиие массы подстилки к той части опада, которая формирует подстилку, является показателем скорости разложення опада и освобождения химических элемеитов. Чем выше этот индекс, тем меньше интеисивность биологического круговорота в данной экосистеме. По данным В. А. Ковды, наибольшей величиной индекса характеризуются заболоченные леса (более 50) и кустарничковые тундры. В темиохвойных лесах он составляет 10—17, в широколиственных лесах — 3—4, саваннах, где разложение ежегодно отмирающего и поступающего в опад органнческого вещества происходит весьма активно,— не более 0,2. Во влажных тропических лесах растительиые остатки практнчески не накапливаются (индекс не более 0,1), поэтому весь биологический круговорот веществ здесь наиболее интенсивный.

Изучение круговоротов вещества и энергии имеет практическое зиачение, так как может служить основой географнческого прогноза природиых условий и ресурсов земной поверхности.

Ритмические явления. К своеобразиой разновидности круговоротов в биосфере относятся ее ритмические изменения. Ритмикой называется повторяемость во времени комплекса процессов, которые каждый раз развиваются в одном направлении. При этом различают две ее формы: периодическую — это ритмы одинаковой длительности (время оборота Земли вокруг оси) и циклическую — ритмы перемеиной длительности. Периодичность в биосфере проявляется во многих процессах: тектоиических, осадконакоплеиии, климатических, биологических и многих других. Ритмы бывают различной продолжительности: геологические, вековые, виутривековые, годовые, суточиые н т. д.

Наиболее крупные ритмы в истории Земли связаны с проявлением вековых колебаний земной коры, орогенных процессов, магматизма и вулканизма. Геологическне рнтмы в фанерозое представлены каледонским, герцинскнм и альпнйским тектоническими этапами. В связи с этим в нстории Земли в теченне последних 600 млн. лет в глобальном проявлении вулканизма имели место пульсации вулкаиической деятельностн. Длительные периоды от-

носительного затухания вулканизма сменялись периодами его бурного проявления. Кроме того, в истории Земли отмечается повторяемость великих ледниковых эпох, которые разделялись интервалами времени порядка 150—200 млн. лет.

Некоторые ритмы связаны с неравномерным облучением Земли в связи с ее движением вокруг Солнца. Изменение времени наступления равноденствий, наклона оси вращения к эклиптике и эксцентриситета земной орбиты соответствует периодам около 21 000 лет, 40 000 лет и около 92 000 лет. Эти периоды, выделенные югославским ученым М. Миланковичем, могли служить причиной климатических колебаний.

Из сверхвековых ритмов хорошо изучен ритм продолжительностью 1800—1900 лет. А. В. Шнитников в каждом ритме выделял три фазы: трансгрессивную (фаза прохладного влажного климата — 300—500 лет), регрессивную (фаза сухого и теплого климата — 600—800 лет) и переходную между ними (700—800 лет). В трансгрессивную фазу наблюдалось усиление оледенения, увеличение стока рек и повышение уровня замкнутых озер, а в регрессивную — реки мелели и уровни озер соответственно понижались.

Среди внутривековых ритмов наиболее четкими оказались циклы продолжительностью 11, 30—35 и 20—50 лет. Эти ритмы отмечены во многих природных процессах. Так, 11-летняя цикличность наблюдается в толщине годичных колец у деревьев, во вспышках некоторых эпидемических заболеваний, в ритмах массовых размножений саранчи и др. 35-летние ритмы (ритмы Э. Брикнера) установлены для всего земного шара, когда серия влажных и прохладных лет сменяется серией теплых и сухих. Эти ритмы А. В. Шнитников установил в колебаниях уровня Ладожского озера, озер Казахстана и юга Западной Сибири.

Годовая ритмика связана со сменой времен года. Ритмические изменения в различных компонентах ландшафта свойственны в той или иной форме любой географической зоне, но наиболее четко они выражены в умеренном поясе. Эта ритмика обнаруживается в годовом ходе климатических элементов, почвообразовательных и геоморфологических процессов, в гидрологических явлениях (ледостав, ледоход, половодье, межень), миграциях рыб и перелетах птиц, в зимней спячке животных. Годовые циклы хорошо известны у млекопитающих: цикл роста у оленей, сезоны размножения у хищников, изменение окраски у животных. У многих арктических птиц размножение приурочено к периоду таяния снегов. Птицы, населяющие влажные тропические леса, имеют тенденцию выводить птенцов в более сухие периоды.

Суточная ритмика связана со сменой дня и ночи и с соответственными изменениями суточного хода температуры, влажности, фотосинтеза и т. д. Эти ритмы можно отыскать в любом природном явлении. Способность живых организмов ощущать время, наличие у многих из них «биологических часов» — важное приспособление, которое обеспечивает выживание особи в данных условиях среды. Например, цветение многих ксерофитных растений в

пустынях приурочено к определенному времени суток. Сарсазан — типичный представитель засоленных местообитаний — имеет дневной тип цветения: цветки распускаются с 6—8 ч утра и до конца дня, но максимальное их количество распускается в 9—11 ч дня при температуре 20—23°С и относительной влажности 50—55%. Для животных суточный цикл заключается в чередовании периодов активности и покоя. Многим животным свойствен либо дневной, либо ночной тип активности. К ночным животным относятся барсуки, скунсы, насекомоядные ежи, совы, ночные бабочки, летучие мыши и др. С ночным или дневным образом жизни связаны морфологические адаптации, делающие животных малозаметными для их врагов или, наоборот, жертв. Самые искусные формы защитной окраски встречаются у ночных животных, которые днем остаются неподвижными. Многие бабочки имеют на крыльях узоры, напоминающие кору тех деревьев, на которых они сидят в дневное время. У ночных видов всегда имеются только белые и черные типы окраски (среди млекопитающих дикобразы, скунсы, барсуки, хорьки имеют бело-черные узоры, причем белые пятна часто расположены на голове и на спине). Характерна суточная миграция для зоопланктона и многих рыб. Окуни в период дневного питания собираются в большие косяки вблизи поверхности, а в течение ночного периода существования рассеиваются в придонных слоях водной толщи.

Итак, ритмичность — это форма своеобразной пульсации биосферы как целостной системы, причем ритмы, как и круговороты веществ, замкнуты в себе. Ритмика входит в понятие структуры ландшафта, ибо взаимодействие компонентов, подвижное во времени, определенным образом организовано и отличается известной последовательностью. Знание и учет ритмических явлений необходимы при рациональном природопользовании и охране естественных ресурсов нашей планеты.

Зональность и азональность. Основоположником учения о природной зональности был В. В. Докучаев (1846—1903), который обосновал зональность как всеобщий закон природы. Этому закону подчинены все явления в пределах биосферы. В дальнейшем радиационные основы формирования зональности земного шара были разработаны А. А. Григорьевым и М. М. Будыко. Основные причины зональности — форма Земли и ее положение относительно Солнца. Помимо широтности, на распределение тепла на Земле влияют характер рельефа и высота местности над уровнем моря, морские течения, соотношение суши и моря и др. Поэтому в качестве границ тепловых поясов взяты изотермы (годовые или самого теплого месяца).

На земном шаре выделяют термические пояса: теплый или жаркий, в каждом полушарии ограниченный годовой изотермой +20°С, проходящей вблизи 30° с. ш. и ю. ш.; два умеренных (между годовой изотермой +20°С и изотермой +10°С самого теплого месяца); два холодных (температура самого теплого месяца ниже +10°С) и две области вечного холода (температура всегда

ниже 0°С). На Земле хорошо фиксируется зональное распределение атмосферного давления в виде 7 поясов: экваториального и двух умеренных пониженного давления, двух тропических и двух полярных повышенного давления. В целом на поверхности Земли выделяется 13 климатических поясов, имеющих широтное простирание и характеризующихся преобладанием в них определенной воздушной массы (см. рис. 23).

Также зонально на земном шаре распределяются атмосферные осадки. Выделяется влажная тропическая зона (примерно между 20° с. ш. и ю. ш.), где в течение года выпадает свыше 1000 мм осадков. Наибольшее среднегодовое количество осадков для Азии составляет 11 633 мм (Черрапунджи, Индия), а максимальное в мире отмечено на Гавайских островах (11 684 мм). Сухие зоны низких широт (между 20° и 40° с. ш. и ю. ш.) отличаются преобладанием антициклональных условий с нисходящими движениями воздуха. В этой зоне сосредоточены самые обширные пустыни мира. Наименьшее среднегодовое количество осадков на земном шаре зафиксировано в Арике (Чили) — 0,8 мм в год. В районе Икике установлен абсолютный рекорд — в течение 14 лет подряд полностью отсутствовали атмосферные осадки. Влажные зоны средних широт (между 40° и 60° с. ш. и ю. ш.) отличаются значительным количеством осадков (более 500 мм), что связано с циклонической деятельностью. Холодные области высоких широт в обоих полушариях характеризуются малым количеством осадков (менее 250 мм), обусловленным господством низких температур.

Зональность проявляется и в гидрологических процессах. Зональными чертами обладают минерализация и глубина залегания подземных вод — от ультрапресных и близких к дневной поверхности в тундре и экваториальных лесах до солоноватых и соленых глубокозалегающих грунтовых вод в полупустынях и пустынях. Зонален коэффициент стока, показывающий, какая доля в процентах атмосферных осадков стекает в реки (остальная испаряется). Так, в тундре он равен 75%, в тайге 65%, в зоне смешанных лесов 30%, в лесостепной 17%, в степях и полупустынях 4—6%. Зональность отражается и на водном режиме рек, зависящем от условий их питания.

На поверхности земного шара выделяется 13 географических поясов, имеющих распространение на материках и океанах. Однако каждый географический пояс на суше имеет ряд зон, отличающихся соотношением тепла и влаги. Для установления количественной характеристики соотношения тепла и влаги для различных географических зон А. А. Григорьевым и М. И. Будыко были предложены некоторые коэффициенты. Соотношение тепла и влаги выражено отношением радиационного баланса поверхности к скрытой теплоте испарения и сумме осадков (так называемый радиационный индекс сухости). По данным радиационного баланса, радиационного индекса сухости с учетом годового стока, показывающего степень увлажнения поверхности, был построен график географической зональности северного полушария (рис. 30). Каж-

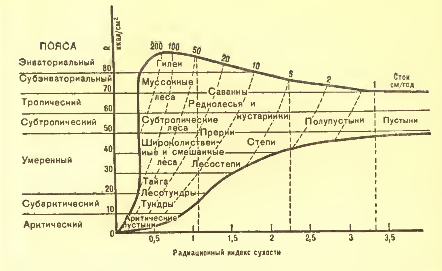


Рис. 30. График географической зональности суши северного полушария (по *М. И. Будыко* и *А. А. Григорьеву*)

дая зона приурочена к определенному интервалу значений вышеуказанных показателей.

Каждой географической зоне свойствен свой зональный тип растительности, который изменяется при движении от северных границ к южным. Поэтому во многих растительных зонах еще выделяют подзоны. Так, в таежной зоне выделяют северную, среднюю и южную тайгу. Достаточно сравнить северную и южную подзоны тайги по некоторым природным факторам, чтобы увидеть значительные различия этих подзон. Так, в северной тайге средняя температура июля составляет +14...+16°С, запас фитомассы в среднем 1500 ц/га; здесь огромные площади занимают болота, основными типами почв являются глеево-подзолистые. В южной тайге соответственно температура июля составляет +18...+19°С, запас фитомассы достигает 3000 ц/га; степень заболоченности значительно ниже и преобладают дерново-подзолистые почвы.

На территории СССР принято выделять 9 растительных зон: полярных пустынь, тундр, лесотундр, лесов, лесостепей, степей, полупустынь, пустынь и влажных субтропических лесов. В каждой зоне наиболее характерный тип растительности связан с плакорными участками (от греч. «плакор» — равнина, плоскость) — слабо расчлененными пространствами, где почвы и растительные сообщества имеют типичные зональные черты. Так, в лесной зоне на плакорных участках произрастает лес, а за его пределами — азональные типы растительности. Поэтому О. Е. Агаханянц считает, что с ботанико-географической точки зрения лесотундры, лесостепи и полупустыни, имеющие на плакоре типы растительности

Таблица 21

Зональная структура растительности СССР
(по *О. Е. Агаханянцу*)

Тепловые пояса	Зоны	Подзоны и полосы	Растительность на плакоре
Арктический	Полярные пустыни	—	Лишайниковые агрегации
	Тундровая	Арктические тундры	Мохово-лишайниково-травянистые тундры
		Типичные тундры	Кустарниковые тундры
		Южные тундры	То же, леса по долинам
		Лесотундры	Тундры и редколесья
Умеренный	Лесная	Северная тайга	Темнохвойные леса
		Средняя тайга	Темнохвойно-светлохвойные леса
		Южная тайга	Светлохвойные леса
		Смешанные леса	Хвойно-широколиственные леса
		Широколиственные леса	Листопадные леса
		Лесостепи	Леса и степи
	Степная	Луговые степи	Злаково-двудольные травостои
		Настоящие степи	Дерновинно-злаковые травостои
		Экстразональные степи	Степи Сибири разного состава
	Пустынная	Полупустыни	Степи и пустыни
		Северные пустыни	Полукустарниковые пустыни
		Южные пустыни	Полукустарниково-эфемеровые пустыни
Субтропический	Субтропические леса	—	Субтропические и другие кустарниковые заросли

смежных зон, не совсем правильно называть зонами, а лучше — полосами динамического контакта (табл. 21).

Зональность почвообразования определяется в основном климатическими условиями и характером растительного покрова. Основоположником почвоведения является В. В. Докучаев. Именно, изучая почвы, он вывел закон о природной зональности. Почвы — один из основных компонентов географической оболочки, они являются, по образному выражению В. А. Ковды, «убежищем» живого вещества, его местообитанием и продуктом. Разнообразие почв на земной поверхности велико, что обусловлено различным сочетанием факторов почвообразования: горных пород, рельефа, климата, растительности и др. Однако главные типы почв распространены в соответствии с законом зональности.

В горах отмечается вертикальная почвенная зональность, что связано с изменением высот, климатических и растительных усло-

вий. В горных странах, больше чем на равнине, ввиду значительного разнообразия природных условий распространены почвенные типы, свойственные только этим районам (горно-луговые, горно-дерновые, горно-лесные бурые и др.). Однако наряду с типичными горными здесь распространены и почвы равнинных территорий (тундровые, подзолистые, черноземные).

В жизни биосферы, помимо явлений, подчиняющихся закону зональности, не менее важную роль играют процессы азональности, т. е. не зависящие от распределения солнечной радиации. Это движения земной коры, образование складок, разломов, горных сооружений, вулканизм, землетрясения и др. Как отмечает С. В. Калесник, все разнообразие земной поверхности, отраженное в различии географических ландшафтов, есть результат сочетания и взаимодействия зональных и азональных факторов. Азональные влияния на географическую зональность выражаются в формировании высотной поясности и в разделении географических зон на провинции на основе рельефа земной поверхности, состава горных пород и распределения суши и моря.

Полярная асимметрия. В 1923 г. В. И. Вернадский в своих лекциях по геохимии в Париже впервые указал на явление дисимметрии нашей планеты на примере «подвижной части земной коры» — астеносферы в районе Тихого океана: «Существование дисимметрии (не сплошных оболочек) указывает, что их происхождение тесно связано с геологическими явлениями в истории нашей планеты, имеющими планетарный характер. Оно отражается коренным образом на всех явлениях, имеющих место на Земле, и на всех исканиях, с Землей связанных». В. И. Вернадский впервые получил количественный показатель, подтверждающий дисимметрию планеты: общий коэффициент отношения суши и моря равен 1:2,4. И, наконец, В. И. Вернадский указал на возможность нахождения «дисимметричных явлений» даже в Космосе...

Не менее важной особенностью развития географической оболочки является полярная асимметрия. Еще в 1914 г. Дж. Грегори в своей работе «Образование Земли» писал, что «фундаментальная разница между северным и южным полушариями есть наиболее бросающаяся в глаза черта в плане Земли». Правильность выделения этой особенности биосферы подтверждается новейшими материалами о наличии полярной асимметрии у планет земной группы и даже планет-гигантов. Ниже рассмотрим лишь наиболее интересные факты асимметрии северного и южного полушарий нашей планеты. Прежде всего уже сама фигура Земли асимметрична, причем северная полярная полуось на 70—100 м длиннее южной, поэтому полярное сжатие северного полушария меньше, чем южного. Фигура Земли напоминает кардиоидальный эллипсоид, с осевой впадиной на Южном полюсе и выпуклостью — на Северном.

Асимметричность северного и южного полушарий заключается и в том, что суша в северном полушарии занимает 39%, а в

8 Заказ № 1993

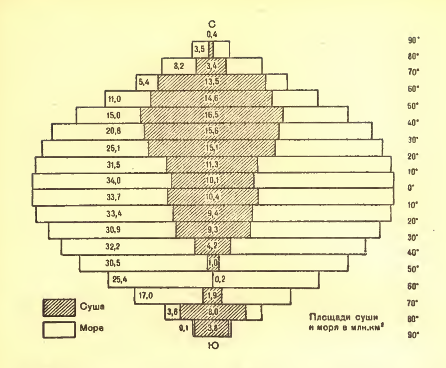


Рис. 31. Полярная асимметрия суши и океана. Поширотное распределение суши и моря на поверхности Земли (площади суши и моря даны в млн. км². Заштрихована суша) (по *Г. Н. Каттерфельду* и *Л. П. Шубаеву*)

южном — 19%. Эта противоположность в распределении суши и океана особенно заметна в пределах субарктического, субантарктического и умеренного поясов обоих полушарий (рис. 31). В северном полушарии здесь располагаются наиболее приподнятые участки земной коры (щиты Балтийский, Алданский, Анабарский, Канадский), а в южном — океанические впадины (Африкано-Антарктическая, Беллинсгаузена и др.). Различны также геологическая история и строение литосферы обоих полушарий. Бо́льшая часть южных материков занята древними платформами (72—90%), значительная же часть северных материков образована палеозойским и мезокайнозойским горообразованием. Материки северного полушария характеризуются большой изрезанностью береговой линии, обилием островов и полуостровов (24—39% от общей их площади), а южного, наоборот, меньшей изрезанностью берегов и малым количеством островов и полуостровов (1—2,1%). В северном полушарии имеется пояс молодых гор (Атлас, Апеннины, Альпы, Кавказ, Тавр, Эльбурс и др.), протянувшийся с запада на восток на месте средиземноморской геосинклинали Тетис; аналога ему в южном полушарии нет.

Асимметричность суши и океана северного и южного полушарий влечет за собой асимметричность в распределении других компонентов географической оболочки. Так, в южном полушарии вследствие значительного преобладания водной поверхности климат в целом ровнее, чем в северном. Если в северном полушарии средняя разность между температурой самого теплого и самого холодного месяца составляет 14°, то в южном — чуть более 6°. Теплые течения в северном полушарии распространяются до Северного Ледовитого океана, в южном — не далее 35° ю. ш. В Арктике характерны слабое континентальное оледенение, сильное морское оледенение и широко распространена многолетняя мерзлота. Так, на Земле многолетняя мерзлота занимает около 21 млн. км² (или 14% площади суши); из них на северное полушарие приходится 20, а на южное — всего только 1 млн. км². Напротив, в Антарктиде — очень мощное континентальное оледенение, а морские льды и мерзлота занимают сравнительно небольшие пространства.

Различия между северным и южным полушариями особенно ярко проявляются при рассмотрении растительных сообществ. В северном полушарии огромные пространства занимает таежная зона, которая в Евразии с запада на восток тянется более чем на 7000 км, в Северной Америке — на 5000 км. В южном полушарии ей аналога нет. В целом в южном полушарии отсутствуют именно те географические зоны, которые на материках северного полушария занимают самые большие территории (тундра, лесотундра, тайга, смешанные и широколиственные леса практически отсутствуют на юге южного полушария). Отдельные виды растений встречаются только в северном полушарии (сосновые, секвойи, таксодиевые), другие (подокарпус, араукария, дакридиум) — произрастают в южном. Отличия проявляются и в животном мире. Пингвинам Антарктиды противостоят наземные животные Арктики: белые медведи, мускусные быки, лисицы, копытные. В южном полушарии отсутствуют такие животные, как двугорбые верблюды, яки, моржи, а в северном нет ламы, кондора, нототениевых рыб и др. Только для южного полушария (Австралия, Новая Зеландия) свойственны сообщества таких животных, как утконос, ехидна, кенгуру, сумчатый волк, киви, коала, сумчатые белки и др.

Имеющиеся палеогеографические материалы свидетельствуют о том, что полярная асимметрия биосферы отмечалась и в прошлые геологические периоды. Например, в настоящее время в южном полушарии обитает 17 видов пингвинов. Остатки ископаемых пингвинов (22 вида) обнаружены только в южном полушарии, причем среди миоценовых видов встречались отдельные экземпляры, достигающие высоты 170 см, которые были лучше, чем современные пингвины, приспособлены к жизни на суше. Асимметрично происходило и развитие древних ледниковых покровов: для северного полушария были характерны оледенения — гуронское (протерозой), ордовикское и четвертичное, а для южного — позд-

недокембрийское и гондванское (карбон — пермь). В четвертичном периоде ледники покрывали до 32% площади суши земного шара, занимая 25% территории Евразии и 60% территории Северной Америки. Гондванское оледенение охватывало территории Южной Африки, Южной Америки, Австралии и Индии. Классической областью распространения гондванского оледенения были южные районы Африки, где мощность моренных отложений достигала 750 м.

Приведенные данные показывают, что полярная асимметрия географической оболочки Земли наравне с такими особенностями, как целостность, круговороты веществ, ритмичность, зональность, является одной из важных закономерностей развития нашей планеты. Знание и использование этих закономерностей позволяет более разумно решить проблему рационального природопользования и охраны биосферы. Вспомним слова И. В. Гете: «Природа — единственная книга, содержание которой одинаково значительно на всех страницах».

Глава VII
ВОЗНИКНОВЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ БИОСФЕРЫ

Природа без конца создает новые формы, то, что существует теперь, никогда не существовало раньше, то, что было, никогда не вернется.

И. В. Гете

Возникновение жизни и биосферы представляет собой крупнейшую проблему современного естествознания, которая еще ждет решения. В настоящее время можно полагать, что жизнь возникла при переходе химической эволюции вещества к эволюции биологической. Однако время и место этого перехода представляют собой загадку, к решению которой мы реально подошли только в последние годы. Как отметил видный советский палеонтолог, академик Б. С. Соколов, даже на «сумасшедший вопрос», что древнее: Земля или жизнь на ней, строго говоря, мы не можем дать определенного ответа. Возможно, они почти ровесники, и поэтому предпочтительнее говорить о появлении жизни на Земле, а не о ее происхождении.

В 1861 г. выдающийся английский физик В. Томсон вычислил время остывания Земли и оценил ее возраст в 24 млн. лет. На этом основании он выступил против эволюционной теории Дарвина, отметив, что за столь короткий срок не мог свершиться длительный процесс биологической эволюции путем естественного отбора и других факторов. Ч. Дарвин был огорчен этим выступлением и назвал В. Томсона (барона Кельвина) «омерзительным видением». Однако он признавал, что расчеты физиков того времени относительно возраста Земли создавали серьезные трудности для его эволюционных идей. Значительно позже, в связи с открытием радиоактивности и использованием этого явления для измерения геологического времени, оказалось, что расчеты В. Томсона были ошибочными. Методы ядерной геохронологии выявили огромную длительность геологического времени, достаточную для полного проявления естественного отбора в вековом процессе биологической эволюции. Возраст Земли, по современным оценкам, равен 4,55 млрд. лет, а возраст древнейших сохранившихся участков земной коры приблизительно 4 млрд. лет.

Большинство авторов гипотез о происхождении жизни на Земле допускали, что в течение огромного промежутка времени планета наша была безжизненной и на ее поверхности, в атмосфере и океане происходил медленный абиогенный синтез органических

соединений, который привел к образованию первых примитивных организмов. Установилось почти традиционное представление о том, что на Земле происходила длительная химическая эволюция, предшествовавшая биологической и охватившая интервал времени не менее 1 млрд. лет.

С другой стороны, появились и другие, противоположные представления о необычайной длительности существования жизни на Земле. Они были высказаны выдающимися учеными нашей страны — В. И. Вернадским, Л. С. Бергом, Л. А. Зенкевичем. В частности, Л. С. Берг в 1947 г. писал: «Действительно, вряд ли хватит трех-четырех миллиардов лет, чтобы на Земле не только зародилась жизнь, но и чтобы она могла дать начало всему тому разнообразию органического мира, какое мы встречаем в настоящее время. Вспомним, что на эволюцию одного подтипа животных — позвоночных — ушло около полумиллиарда лет. Сколько же потребовалось для образования первичных хордовых, для иглокожих, для моллюсков, членистоногих, червей и т. д. ...Какой промежуток времени употребила природа, чтобы произвести группу одноклеточных организмов, включающих в себя не только несколько типов, но одновременно животных и растения? Сколько времени нужно было, чтобы из бесформенного клочка живого вещества получил начало первичный оформленный организм?»

Поставленные вопросы не потеряли своей актуальности и в настоящее время. Для освещения их необходимо учесть последние данные палеонтологии и палеогеохимии, отражающие наличие жизнедеятельности организмов прошлого.

Наши знания о ранее живших организмах представляются довольно жалкими. Миллиарды особей предков современного животного и растительного мира безвозвратно исчезли в геологическом прошлом, не оставив после себя остатков в виде тех или иных форм ископаемых. По оценкам некоторых палеонтологов, в геологической летописи сохранилось всего лишь около 0,01% от числа видов, некогда населявших поверхность Земли в течение ее истории. Это, естественно, связано с очень плохой сохранностью тела организмов после их гибели.

Следы существования, которые оставляют после себя организмы геологического прошлого, подразделяются на морфологические и геохимические. Морфологические следы наиболее очевидны. Они встречаются в виде остатков естественной мумификации, окаменелостей и отпечатков. При естественной мумификации организм сохраняется наиболее полно. Однако естественные мумии образуются редко, преимущественно при замерзании трупов животных в условиях вечной мерзлоты. Примерами могут служить трупы мамонтов и других животных в замороженном состоянии, иногда находимые на севере Сибири.

Окаменелостями чаще всего оказываются твердые части тела организмов, которые представляют собой раковины моллюсков, скелеты губок и кораллов, кости позвоночных животных. Также и другие части тела животных подвергаются процессу окамене-

иия, или, как обычно говорят палеонтологи, фоссилизации. При этом различные минеральные вещества, находящиеся в природных водах в растворенном состоянии, проникают в тело погибшего организма и замещают его ткани. Процессу фоссилизации также могут подвергаться остатки растений и микроорганизмов. Однако фоссилизация микроорганизмов происходит в условиях, когда их остатки захороняются и консервируются в исключительно тонкозернистых осадках либо в коллоидных отложениях кремнезема. Микрофоссилии иногда встречаются хорошей сохранности, с четким изображением формы и имеют сходство с современными микроорганизмами.

Отпечатки представляют собой окаменелые признаки формы организма, которые отпечатали свою тонкую форму на поверхности тонкозернистого осадка. Впоследствии этот осадок превратился в твердый камень. Отпечатываются мягкие ткани растений и животных, в частности медузы.

Фоссилизированные остатки организмов встречаются в отложениях последних этапов геологической истории, охватывающих 570 млн. лет. По инициативе американского геолога Ч. Шухерта этот период назван фанерозойским эоном, или фанерозоем (от греч. «фанерос» — очевидный, четкий, «зое» — жизнь). К фанерозою относятся три последние эры в истории земной коры: палеозойская, мезозойская и кайнозойская. Более древняя и продолжительная часть геологической истории названа криптозоем (от греч. «криптос» — скрытый). Он охватывает огромный промежуток времени — 570—4550 млн. лет тому назад и обозначается как докембрий. Организмы криптозоя не имели твердого скелета и представлены преимущественно микрофоссилиями или их постройками, которые в наиболее типичных случаях выражены в строматолитах.

В морфологическом отношении строматолиты оказываются наиболее древними проявлениями жизни. Они представляют собой шаровидные и полушаровидные образования со сложной слоистостью и состоят преимущественно из карбоната кальция. Все строматолиты являются мелководными образованиями и связаны с условиями осадконакопления. Строителями их были сине-зеленые водоросли и бактерии. Древнейшие строматолиты найдены в разрезе докембрия Западной Австралии в формации Варравуна, возраст которой 3,5 млрд. лет!

Геохимические следы существования древних организмов остаются в виде органических соединений в осадочных горных породах земной коры. Эти соединения широко распространены во многих осадочных толщах. В составе органического вещества земной коры обнаружены в разных пропорциях углеводороды, углеводы, жиры и аминокислоты. Они преимущественно растительного происхождения и возникли из мелких растительных организмов, ранее слагавших планктон древних водоемов. Важным достижением органической геохимии является установление в весьма древних породах углерода биогенного фотосинтетического происхождения.

Следы деятельности фотосинтезирующих организмов в виде органических соединений обнаружены в темных филлитовых сланцах системы Онвервахт в Южной Африке, возраст которой 3,44 млрд. лет.

Важное значение в современной геохимии занимают изотопные методы исследования, позволяющие устанавливать следы жизнедеятельности в самых древних метаморфизованных породах земной коры. В процессе жизнедеятельности при обмене с веществом внешней среды происходит фракционирование изотопного состава некоторых элементов, в частности таких, как углерод и сера. Особенно показательными являются данные по изотопному составу природного углерода — главного элемента жизни.

Древние участки земной коры имеют возраст свыше 3,5 млрд. лет. В СССР к этим древним образованиям относится комплекс горных пород Конкско-Белозерской формации на Украине, в Приднепровье. Однако наиболее древним участком земной коры является комплекс Исуа в Западной Гренландии, возраст которого не менее 3,8 млрд. лет. Возраст относится к событиям метаморфизма и магматической деятельности в данном районе. Осадкообразование комплекса началось еще раньше, не менее 4 млрд. лет тому назад. В горных породах Исуа обнаружены явные следы геохимического характера, указывающие на существование жизни в то далекое время. Они выражаются в изотопном составе углерода, в наличии окисленного железа осадочного происхождения, осадившегося под воздействием свободного кислорода от фотосинтеза тех времен, в наличии некоторых органических соединений в графитовых включениях. Все эти следы отражают присутствие биосферы с фотоавтотрофными организмами. Этими организмами могли быть сине-зеленые водоросли или их предки, возникшие в процессе длительной эволюции, предшествовавшей дате 4 млрд. лет тому назад. Появлению автотрофной фотосинтезирующей жизни должен предшествовать период времени, который привел к образованию организмов довольно большой сложности (рис. 32). Так, фотоавтотрофной жизни должна была предшествовать гетеротрофная как более примитивная. Древнейшая жизнь, вероятно, существовала в качестве гетеротрофных бактерий, получавших пищу и энергию от органического материала абиогенного происхождения, возникшего еще раньше. Отсюда нетрудно себе представить, что начало жизни как таковой отодвигается еще дальше в глубину геологического времени за пределы даты 4 млрд. лет тому назад, за пределы каменной летописи земной коры.

Таким образом, сочетание недавно полученных микропалеонтологических, биогеохимических и изотопных данных упорно свидетельствует о том, что жизнь на Земле существовала столько времени, сколько существовала и сама наша планета. Это заключение подтверждает на современном научном материале выдающееся обобщение В. И. Вернадского, который свыше 50 лет тому назад писал: «Для нашей планеты эмпирически установлено существование жизни в самых древних нам доступных отложениях,

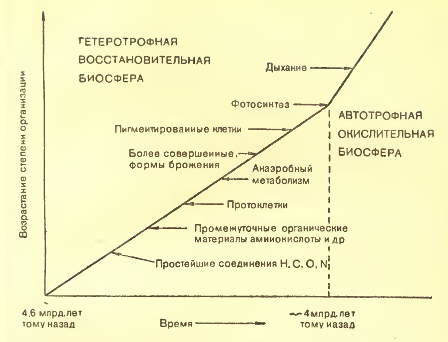


Рис. 32. Схема последовательного развития вещества по пути образования фотосинтезирующих организмов

нам на нашей планете известных. С другой стороны, нигде мы не нашли в биосфере горных пород, которые указывали бы на их образование в течение геологического времени в отсутствии живого вещества. Даже массивные породы, как вулканические, так и плутонические, носят в себе несомненные следы существования живого вещества в условиях их образования.

И правильно, как следствие этого эмпирического вывода, в последнее время введено американскими геологами представление криптозойского эона, т. е. скрытножизненного, отвечающего самым древним по возрасту и самым длительным по времени периодам геологической истории нашей планеты. Эмпирически, таким образом, мы не нашли указаний на время, когда живого вещества на нашей планете не было. Жизнь на ней геологически вечна».

В свете новых данных неизбежно следует вывод о раннем зарождении жизни в пределах Солнечной системы. Химическая эволюция вещества Земли и всех планет Солнечной системы совершалась еще в космических условиях в период, предшествующий их образованию. Возникает новая космохимическая проблема — выяснения способов возникновения ближайших предшественников жизни в процессе формирования самой Солнечной системы. Это сложная проблема, которая только недавно поставлена.

До настоящего времени довольно упорно сохранялось представление о том, что синтез органических соединений как предшественников жизни начался в ранней атмосфере Земли. Допускалось, что первичная безжизненная атмосфера состояла преимущественно из водорода, метана, аммиака с примесями паров воды (H_2, CH_4, NH_3, H_2O). Считалось принципиально важным получение в подобной газовой смеси многочисленных органических соединений, в частности аминокислот, под действием электрических разрядов. Эти опыты впервые были поставлены по инициативе американского физико-химика Г. Юри его учеником С. Миллером в 1953 г. Обращалось особое внимание, что при этом возникают те органические молекулы, которые входят в состав белков и других веществ биологического происхождения. Результаты довольно многочисленных опытов по воздействию радиации на газовые смеси, имитирующие первичную атмосферу Земли, рассматривались в качестве подтверждения идеи о том, что ультрафиолетовое излучение Солнца и грозовые явления в первичной атмосфере и парах Земли, обильно содержащей метан, аммиак, углекислоту, водород и другие химические элементы, при определенных температурах и давлениях должны были приводить к массовому образованию сложных углеродных соединений, в том числе белков. Популярность представлений об абиогенном синтезе сложных органических соединений в условиях ранней атмосферы Земли была настолько велика, что в отдельных случаях в школьных условиях демонстрировались опыты по получению органических веществ из смеси водорода, метана и аммиака в стеклянных сосудах при пропускании электрических разрядов. Таким образом наглядно подтверждалась справедливость представлений о зарождении органических соединений как предшественников жизни на Земле и в ее ранней атмосфере.

Однако в свете современных данных космохимии эти представления оказались несостоятельными. Земля принадлежит к внутренним планетам Солнечной системы и возникла в иных термодинамических условиях, чем гигантские внешние планеты типа Юпитера и Сатурна, которые действительно в своих водород-гелиевых атмосферах содержат аммиак, метан и другие углеводороды. Наиболее близкой, хотя и не тождественной первичной атмосфере Земли является атмосфера безжизненной Венеры, состоящая преимущественно из углекислого газа. Аналогичный состав атмосферы имеет Марс. Глубинные газы обширной мантии Земли, выделившиеся и выделяющиеся при вулканических извержениях и давшие начало первичной атмосфере планеты, содержали главным образом H_2O, CO_2, SO_2, H_2S, N_2. Газы подобного состава обнаружены в метеоритах. Таким образом, все данные современной геохимии и космохимии не дают никаких указаний на присутствие водорода, аммиака и метана в ранних планетах земной группы.

По всем данным, наиболее обильный газ первичной атмосферы Земли был представлен CO_2. Однако этот газ не способен самопроизвольно превращаться в органические соединения, которые

оказываются в термодинамическом отношении менее устойчивыми. Скудность водорода или же его быстрая потеря в условиях ранней Земли также резко снижала возможность образования органических веществ в атмосфере, как это предполагалось в некоторых популярных гипотезах происхождения жизни. Отмеченные обстоятельства говорят в пользу вывода о том, что образование основной массы сложных органических веществ как родоначальников жизни совершалось за пределами Земли в период, предшествующий ее образованию.

В настоящее время получены космохимические данные, указывающие на широкие возможности возникновения органических веществ как предшественников жизни в космических условиях. Большая часть молекул, обнаруженных в межзвездных облаках, относится к простейшим соединениям углерода. Однако до образования сложных высокомолекулярных соединений еще очень далеко.

Органические соединения достаточно большой сложности присутствуют непосредственно в телах Солнечной системы. Они содержатся в метеоритах, которые являются древнейшими каменными телами системы, сохранившими признаки своего образования в «замороженном» состоянии. В настоящее время мы имеем полное право рассматривать метеориты как документальных исторических свидетелей тех событий, которые происходили в период образования Солнечной системы или же вскоре после завершения этого процесса, поскольку возраст их, по данным ядерной геохронологии, установлен в пределах 4,5—4,6 млрд. лет, что совпадает с возрастом Земли и Луны.

Органическое вещество в метеоритах обнаружил впервые знаменитый шведский химик И. Берцелиус при анализе углистого хондритового метеорита Алаис в 1834 г. Исследования последнего времени показали, что органические вещества содержатся не у всех метеоритов, а только в довольно ограниченной группе, относящейся к углистым хондритам.

В органическом веществе метеоритов обнаружены углеводороды и среди них наиболее распространенные, с 16 атомами углерода в молекуле. Среди кислородсодержащих соединений обнаружены спирты, карбониловые соединения и алифатические карбоксиловые кислоты. В метеоритах встречены пурины, пиримидины и другие азотсодержащие соединения, порфирины с молекулярным весом 500—600. Обнаружены сернистые и хлорные соединения органики, а также органические полимеры. Выявлено несомненное присутствие аминокислот, которые заслуживают особого внимания, так как обычно они выступают как составные части белковых тел. Все органические соединения метеоритов не обнаружили оптической активности, что свидетельствует об их абиогенном происхождении.

В целом список органических соединений в метеоритах представляется довольно внушительным. Все эти органические соединения в той или иной мере соответствуют универсальным звеньям обмена веществ известных живых организмов — аминокислот, бел-

ковоподобных полимеров, полинуклеотидов, порфиринов и других веществ.

Метеориты представляют собой осколки более крупных тел — астероидов, значительная часть которых движется на расстоянии 2,3—3,3 астрономических единиц от Солнца. Последние измерения отражательной способности астероидов подтверждают их единство с материалом метеоритов. Поэтому все минеральные и химические особенности метеоритов, изученные в лаборатории, могут быть перенесены на соответствующие астероиды. К настоящему времени установлено, что большинство изученных астероидов имеет состав углистых хондритов. Следовательно, они содержат много органических веществ, которые являются одной из причин их темной окраски и низкой отражательной способности.

Таким образом, данные по космохимии метеоритов и астероидов свидетельствуют о том, что *образование органических соединений в Солнечной системе на ранних стадиях ее развития было типичным и массовым явлением.* Наиболее интенсивно оно проявилось в пространстве астероидного пояса, но, вероятно, оно охватывало и другие области протопланетной солнечной туманности, из которой возникла Земля. Последовательный ход событий в процессе химической эволюции Солнечной системы можно представить себе следующим образом.

На последних стадиях остывания солнечной туманности, когда основные тугоплавкие вещества (железо, силикаты и сульфиды) уже конденсировались в виде пылевых частиц, происходили процессы формирования простейших органических соединений. Эти процессы протекали при температуре ниже 500°К, когда совершались реакции между водородом, CO и простейшими соединениями азота. Однако даже в благоприятных термодинамических условиях реакции этого типа протекают медленно. Но они резко ускоряются в присутствии катализаторов, которыми могли быть магнетит (Fe_3O_4) и гидратированные силикаты, ранее возникшие в виде частиц в процессе химической эволюции солнечной туманности. Органические соединения были синтезированы на поверхности силикатных зерен и магнетита, которые позже вошли в состав углистых хондритов. Так, под микроскопом было обнаружено наличие значительного количества органических веществ в виде округленных флюоресцирующих частиц с диаметром от 1 до 3 мкм. Маленькие ядрышки магнетита или гидратированных силикатов обнаружены в центре этих частиц.

Изложенные представления подтверждаются экспериментальными исследованиями по моделированию подобных реакций, и эти исследования интенсивно продолжаются.

В связи с обилием в первичной туманности водорода, углерода (преимущественно в форме CO), азота первоначально возникали простейшие их соединения по пути реакций:

$$2CO+2H_2 \rightarrow CH_4+CO_2;$$

$$CO_2+4H_2 \rightarrow CH_4+2H_2O;$$

$$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3.$$

В связи с этим в определенных областях протопланетной туманности могла возникать водород-метан-аммиачная смесь газов. В этой смеси, естественно, могли происходить реакции под влиянием ионизирующей радиации, что дало в качестве продукта определенный набор органических соединений. Однако ультрафиолетовая радиация первичного Солнца не имела решающего значения. Зараженная возникшей пылью протопланетная туманность была непрозрачной для ультрафиолетового света, вызывающего фотохимические реакции. В то же время у нас имеются основания утверждать, что в ранней Солнечной системе существовали достаточно интенсивные источники ионизирующей радиации. Она определялась присутствием повсеместно рассеянных радиоактивных изотопов. Ионизирующая радиация возбуждала многие химические реакции, включая синтез органических соединений как предшественников образования живого вещества.

Таким образом, на основе последних теоретических и экспериментальных данных можно сделать вывод, что синтез довольно сложных органических соединений как предшественников живого вещества был *закономерным этапом в химической эволюции Солнечной системы в канун формирования планет.* Возникшие в космических условиях органические вещества вошли в состав многих тел, но лишь на Земле реализовались возможности дальнейшей прогрессивной эволюции, которые обеспечили быстрое возникновение саморегулирующих высокомолекулярных систем — непосредственных предков первых живых организмов. В метеоритах и их родоначальных телах химическая эволюция оказалась замороженной.

Органические вещества космического происхождения попали на рождающуюся Землю на последних стадиях ее аккумуляции совместно с материалом типа углистых хондритов. Следует при этом отметить, что по ряду геохимических и изотопных данных материал верхней мантии Земли во многих отношениях был близок к материалу углистых хондритов как первичному источнику воды и других летучих веществ. Однако насколько далеко продвинулась химическая эволюция вещества в космических условиях, мы не знаем. Те углистые метеориты, которые изучены в отношении содержания органики и пришли к нам из пояса астероидов, могут быть аналогом материала, создавшего верхние горизонты нашей планеты. Но они не могут рассматриваться как материал, полностью тождественный верхней мантии Земли.

По-видимому, можно наметить два пути решения проблемы. Либо химическая эволюция, начавшись в космических условиях, продолжалась в условиях Земли и в относительно короткие сроки привела к образованию первых примитивных живых организмов. Либо образование первых сложных молекул ДНК, лежащих в основе наследственности, произошло в космических условиях, а полная реализация возможностей ДНК наступила в первых во-

доемах нашей планеты, содержащих растворенные органические вещества. Но если первые зародыши жизни и не возникли в космических условиях, то космический синтез органических веществ создал в ранней Земле неограниченную кормовую базу для первых гетеротрофных организмов, или точнее — их предков.

Из сказанного следует, что первая биосфера в истории Земли носила восстановительный гетеротрофный характер в целом. В дальнейшем, в ходе геологической истории, эволюция биосферы происходила и происходит как разрешение противоречия между безграничной способностью организмов к размножению и ограниченностью минеральных ресурсов, которые могут быть использованы в каждую определенную эпоху. Противоречие это разрешается путем овладения новыми источниками вещества и энергии и приобретением новых качеств и приспособлений растениями и животными. При этом наследственная изменчивость выступает как существенная предпосылка развития, а естественный отбор — как механизм закрепления новых качеств.

Бóльшую часть геологического времени, от периода появления первых водоемов на нашей планете, эволюция жизни проходила в воде, и естественно, что древняя биосфера ограничивалась преимущественно гидросферой. Нам сейчас трудно восстановить облик самых ранних биосфер. Однако мы вполне имеем право допустить, что размножение организмов в древней биосфере создавало «давление» на среду и приводило к упорной экспансии самих организмов в разные области нового обитания. Длительность развития крупных групп прокариотов и эукариотов в ходе геологического времени показана на рисунке 33.

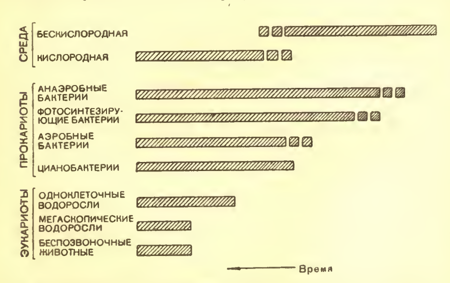


Рис. 33. Длительность существования отдельных крупных групп организмов в течение геологического времени

Можно полагать, что первые формы жизни на нашей планете представляют собой биохимические простые прокариотические одноклеточные или неклеточные структуры, вероятно, шарообразные по форме и гетеротрофные по способу питания. Важным переломным этапом в эволюции древней биосферы был переход от стадии гетеротрофного режима к новому — автотрофному, основанному на дыхании и в окислительных условиях. Восстановительная гетеротрофная биосфера превратилась в автотрофную окислительную. Это было обусловлено возникновением фотосинтезирующих организмов, которыми были сине-зеленые водоросли или их предки, скорее всего, цианобактерии. Сначала наличие свободного кислорода фотосинтетического происхождения ограничивалось верхними горизонтами древних водоемов в зоне проникновения солнечного света. Затем в связи с ростом и размножением фотосинтезирующих организмов количество свободного кислорода стало возрастать, захватило атмосферу и создало предпосылку для образования озонового экрана. Этот переломный этап в развитии биосферы относится к весьма древним событиям, происшедшим свыше 4 млрд. лет тому назад (рис. 34). Основные события химических изменений в биосфере происходили первоначально в морской среде и были связаны с эволюцией морских микроорганизмов.

Организмы, образовавшие строматолиты отложений Варравуна в Австралии (3,5 млрд. лет тому назад), были предками сине-зеленых водорослей или родственных им бактерий. В более поздней по возрасту железорудной формации Ганфлинт в Северной Америке (свыше 1,8 млрд. лет тому назад) содержатся древние окаменелости, обнаружившие явную дифференциацию на несколько типов клеток. Обильно представлена нитчатая микроокаменелость, похожая на сине-зеленую водоросль.

Появление эукариотических одноклеточных организмов 2—1,5 млрд. лет тому назад было важным событием в истории органического мира, необходимым для возникновения многоклеточных животных. Вторым событием было увеличение свободного кислорода в атмосфере, что создало предпосылки для экспансии органического мира на поверхность континентов.

От даты приблизительно 1,4 млрд. лет тому назад палеонтологическая летопись значительно расширяется. Микроорганизмы увеличивают свои размеры. Появляются многоклеточные животные. Точная дата этого события не фиксирована. Только в верхнедокембрийской формации Эднакара в Австралии 600—700 млн. лет тому назад были найдены многочисленные представители мягкотелых беспозвоночных животных, представляющих главным образом фауну бентоса.

Когда появились первые живые организмы на суше, мы не знаем. В этом отношении отсутствуют строгие палеонтологические данные, что привело к широко распространенному мнению об отсутствии в криптозое жизни на суше. Однако, как отмечал Л. С. Берг: «Мнение о безжизненности археозойских, протерозой-

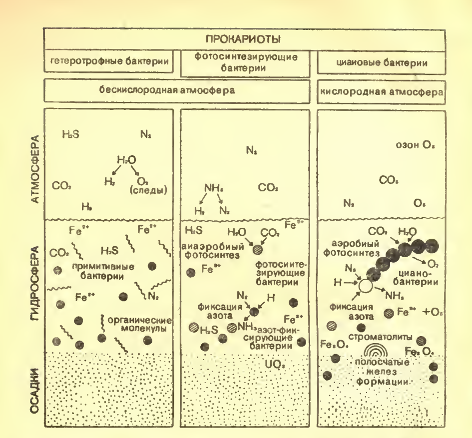


Рис. 34. Отдельные этапы развития микроорганизмов в водной среде по пути превращения гетеротрофной восстановительной биосферы в биосферу окислительную

ских и кембрийских материков коренится на старом допущении, будто жизнь на Земле обязательно должна была зародиться в океане, откуда она с течением времени распространилась на пресные воды, а затем на сушу... Вообще, по нашему мнению, нет ничего невероятного в том, что жизнь получила начало на материках — на суше ли, или в материковых водоемах, трудно сказать».

В начале фанерозоя (около 600 млн. лет тому назад) происходит важное изменение в составе морской фауны. Многие беспозвоночные животные приобретают твердую часть тела — скелет. Эволюция животных в течение длительного времени, в криптозое, протекала в водной среде (в зоне моря), насыщенной кислородом. В это время тело животных состояло из мягких тканей. Эволюция скелетов задерживалась, так как твердые скелеты делали организмы более тяжелыми и они погружались ниже кислородной зоны в среду, где не было условий для их существования. Поэто-

му твердые скелеты могли возникнуть только у тех организмов, которые приобрели плавательный аппарат и способны были плавать и перемещаться по дну в зоне мелководных побережий. Прикрепленные формы бентоса с твердым скелетом (кораллы, губки, морские лилии) могли возникнуть только тогда, когда морская вода в значительной части объема оказалась насыщенной свободным кислородом.

В пределах биосферы происходило образование осадочных горных пород в течение всей изученной геологической истории Земли. Естественно, что состав и соотношения разных типов осадочных пород прямо и косвенно отражали эволюцию живого вещества биосферы. В течение всей истории биосферы мы можем отметить все возрастающее влияние живых организмов на ход осадкообразования. При этом влияние осуществлялось как в количественном, так и в качественном отношении. Наиболее полно это обстоятельство было изучено и обосновано советским геологом Н. М. Страховым в его работах по теории литогенеза. Им было выделено в истории Земли четыре этапа химико-биогенного осадкообразования, на которых происходило прогрессивное вытеснение хемогенной (химической) седиментации частью терригенной, частью биогенной. Наиболее важным в процессе становления современной биосферы был последний этап, по длительности охвативший весь фанерозой. Этот этап характеризовался рядом существенных изменений в гидросфере и атмосфере, что отразилось на осадочном породообразовании. Главным фактором этих изменений выступало живое вещество.

В раннем палеозое — в силурийском периоде — живое вещество планеты в массовом количестве выходит из океанической среды на поверхность континентов. Следует подчеркнуть массовый характер этого явления, так как ряд микроорганизмов докембрия, несомненно, мог обитать на суше с незапамятных времен. С начала фанерозоя идет по существу переселение многоклеточных организмов (сначала растений, а затем животных) на поверхность континентов. Живое вещество «расползается» по суше, образуя наземную флору и фауну. Первоначально оно занимает площади влажных областей, особенно низких широт, с повышенной температурой и влажностью. Аридные и полуаридные области были захвачены позже. Завоевание материков живым веществом сопровождается резким возрастанием его массы. Оценки этой массы давались различные, однако живое вещество континентов вскоре стало резко преобладать над количеством океанической биомассы.

Одновременно в океане также продолжается относительный рост массы живого вещества и его «расползание» по дну. Бентос захватывает все новые и новые участки морского дна, продвигаясь в глубину. Подвигается в более глубокие горизонты и планктон, что также приводит к увеличению биологической массы биосферы. Увеличение массы живого вещества сопровождается усложнением его качественного состава, а также использованием

9 Заказ № 1993

организмами ряда минеральных компонентов для построения внутреннего и наружного скелетов. При этом все больше используются SiO_2, $CaCO_3$, $MgCO_3$, фосфаты кальция, $SrSO_4$, $BaSO_4$, ряд редких элементов (Cu, V и др.). В метаболизме клеток участвуют сложные металлоорганические соединения (гемоцианин, гемоглобин и др.). В огромной степени увеличивается воздействие живых организмов на всю геохимию океана и атмосферы. В связи с этим формируется современный химический состав атмосферы и растворенного вещества гидросферы.

В ходе геологического времени развитие биосферы носило необратимый характер. В первую очередь это касается живого вещества, для которого необратимость развития стала ясной после работ Ч. Дарвина. Основываясь на эволюционном учении и палеонтологических данных, знаменитый бельгийский палеонтолог Л. Долло (1857—1931) в короткой заметке «Законы эволюции» сформулировал закон необратимости эволюции: «Организм не может вернуться, хотя бы частично, к предшествующему состоянию, которое было уже осуществлено в ряду его предков».

В течение истории Земли необратимость биологической эволюции определила необратимость динамики веществ в биосфере, что выявляется по характеру древних осадков.

Глава VIII

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЧЕЛОВЕКА НА БИОСФЕРУ

> ...По мере развития общества человек до бесконечности увеличивает точки соприкосновения с окружающей средой и научается использовать тысячи природных условий, бывших до того времени для него бесполезными или даже вредными.
>
> *Э. Реклю*

Издавна человек оказывал воздействие на окружающую среду, занимаясь животноводством, охотой, земледелием, строительством ирригационных сооружений, вырубкой леса и др. На протяжении долгого времени возможности человека были ограничены и в целом он незначительно изменял природные ландшафты. Однако численность населения планеты возрастала, человек вооружался мощной техникой, его влияние на природную среду все усиливалось и в последние десятилетия достигло огромных, ранее не предвиденных масштабов. Поэтому в наши дни особую актуальность приобретает учение В. И. Вернадского о переходе биосферы в ноосферу, что может послужить основой фундаментальных и направленных исследований экологических проблем. Бурное развитие научно-технического прогресса привело к резкому усилению антропогенного воздействия на природную среду, к возникновению новых или обострению ранее существовавших жизненных проблем. В. И. Вернадский писал, что «...человек становится могучей геологической силой». Масштаб воздействия человека на природу стал действительно планетарным, и по количественному эффекту воздействия деятельность человека стала превосходить многие естественные процессы.

Человек ежегодно извлекает из земных недр свыше 100 млрд. т полезных ископаемых, выплавляет 800 млн. т различных металлов, рассеивает на полях свыше 500 млн. т минеральных удобрений. Ежегодно сжигается около 9 млрд. т условного топлива, что приводит к выбросу в окружающую среду более 20 млрд. т углекислого газа и более 700 млн. т других соединений. На нашей планете за последние два века площадь лесов сократилась с 56 до 26% поверхности суши. Причем особенно интенсивно исчезают тропические леса. Даже эти приведенные цифры показывают, насколько актуальна и важна для человека и среды его обитания направленность и характер этих воздействий. В. И. Вернадский верил в силу человеческого разума, когда писал такие слова:

«Можно смотреть поэтому на наше будущее уверенно. Оно в наших руках. Мы его не выпустим».

Воздействие на земную кору. За последние годы человек активно стал внедряться в жизнь земной коры, добывая огромное количество полезных ископаемых и перемещая их по поверхности Земли. Чрезмерная добыча полезных ископаемых, в том числе и подземных вод, стала вызывать проседание земной поверхности. Например, в Рурском бассейне, Донецком и Подмосковном угольных бассейнах величина прогибания составляет первые метры при глубине разработок 300—1000 м, а диаметр депрессий поверхности над некоторыми угольными бассейнами достигает сотен километров. Откачка подземных вод также приводит к значительному проседанию почвы в этих районах. По этой причине территория города Мехико за период с 1880 по 1956 г. опустилась примерно на 5,6 м. Отмечены случаи прогибания участков земной коры под городами и крупными водохранилищами. Например, под одним из крупнейших на земном шаре водохранилищем Кариба на реке Замбези в Африке скорость прогибания почвы во время заполнения и в первые последующие годы составила 10—12 мм/год. Имеются аналогичные геодезические данные и для ряда водохранилищ нашей страны. Так, осадка основания плотины Красноярской ГЭС к началу 1972 г. в ее центральной части достигла 30 мм относительно пунктов, удаленных на 0,3—0,5 км. Наконец, крупные водохранилища, особенно в горных районах, могут приводить к увеличению естественной сейсмичности и вызывать землетрясения. В Таджикистане по мере заполнения Нурекского водохранилища на реке Вахш отмечалось увеличение сейсмичности и возрастание в несколько раз количества землетрясений.

Огромные площади на земном шаре занимают нефтегазоносные провинции, крупные угольные бассейны и карьеры горнодобывающих предприятий. Только в СССР карьеры охватывают площадь более 20 тыс. км^2. Ежегодное увеличение их площадей достигает 350 км^2.

Большие площади занимают города. В промышленно развитых странах (ФРГ, Франция, США) они уже сейчас занимают площадь 7—12% территории государства. Как отмечает А. А. Никонов, использование поверхностных вод для орошения и другие антропогенные нарушения водного баланса ведут к изменению направленности и интенсивности естественных движений земной коры. Однако наиболее активные воздействия человека на земную кору связаны с проведением подземных ядерных взрывов в мирных целях для создания озерных котловин, подземных полостей, гашения газовых пожаров, усиления нефте- и газоотдачи и др.

Воздействие на климат. Человек издавна влиял на климат своей деятельностью. На климате сказывались вырубка лесов, орошение засушливых земель, создание искусственных каналов и плотин и многое другое. Правда, до определенного времени изменения не были существенными. В последние же десятилетия эти

действия в отдельных районах стали критическими и опасными для существования самого человека. В результате хозяйственной деятельности в атмосферу выбрасывается огромное количество химических соединений. Ежегодное их поступление оценивается величинами от 1000 до 2600 млн. т. Это приводит к увеличению концентрации атмосферных аэрозолей, что вызывает уменьшение прямой солнечной радиации на поверхность Земли. В результате сжигания всех видов горючих полезных ископаемых количество углекислого газа в атмосфере увеличивается, что, как показывают предварительные расчеты, повысило среднюю глобальную температуру поверхности Земли на 0,3—0,4°. К 2000 г. это повышение ожидается около 2°. Такие изменения температур повлияют на режим увлажнения, что приведет к увеличению количества атмосферных осадков в одних районах и к уменьшению — в других.

Наиболее ярким примером воздействия антропогенного фактора на глобальный климат планеты является возникновение проблемы «озонной дыры» над Антарктидой. Известно, что атмосферный озон образуется в результате сложных фотохимических реакций под воздействием ультрафиолетового излучения Солнца. Хотя его содержание невелико (если собрать озон, находящийся в атмосфере, то мощность его слоя составит всего около 3 мм), его значение для биосферы огромно. Озон, поглощая ультрафиолетовое излучение, предохраняет все живое на Земле от гибели.

В начале 80-х гг. было установлено, что количество озона в атмосфере в южной полярной области Земли стало уменьшаться. В октябре 1985 г. появились зарубежные сообщения о том, что содержание озона в атмосфере над английской антарктической станцией Халли-Бей за последние 10 лет катастрофически падает, а концентрация озона в слое 15—25 км над японской станцией в Антарктиде Сёва весной уменьшилось в 2 раза. Это уменьшение концентрации озона над Антарктидой получило название «озонной дыры». Появились различные гипотезы происхождения этого явления, и прежде всего роль антропогенного фактора.

В августе 1986 г. экспедиция Национального научного фонда США провела комплекс работ на Южном полюсе, что позволило выяснить основные причины, способствующие образованию «озонной дыры». Установлено, что на интенсивность разрушения озона активное влияние оказывают метеорологические условия, т. е. изменилась величина приноса озона в антарктические районы: в 1980—1985 гг. наблюдалось «недополучение» озона в течение зимнего периода. И наиболее важной причиной послужил антропогенный фактор — применение хлорфторуглеводородов (фреонов).

Известно, что фреоны широко применяются в производстве и быту в качестве хладореагентов, пенообразователей, растворителей, а также в аэрозольных упаковках. По зарубежным источникам, продолжительность пребывания фреонов в атмосфере составляет 50—200 лет. Фреоны, попадая в атмосферу, под действием солнечного излучения распадаются на ряд соединений, из

которых окись хлора наиболее интенсивно разрушает озон. Так, результаты самолетных исследований «озонной дыры» в Антарктиде летом 1987 г. показали, что на высоте 18 км концентрация окиси хлора более чем в 100 раз выше, чем в атмосфере над средними широтами. Все это привело к тому, что за период с 1980 по 1987 г. в области антарктической «озонной дыры» содержание озона понизилось на 50%. Кроме того, фреоны, подобно диоксиду углерода, увеличивают «парниковый эффект», способствуя таким образом глобальному потеплению климата. В 1977 г. в Великобритании было запрещено использование фреонов при производстве аэрозолей, получивших широкое распространение во всем мире. В ряде стран (США, Канада, Норвегия, Швеция) уже действуют отдельные запреты на использование фреонов в аэрозольных упаковках, при этом найдены достаточно эффективные заменители.

Проблема «озонной дыры» может быть окончательно решена лишь совместными усилиями ученых разных стран, участвующих в изучении природы Антарктиды. Планируется участие в этой проблеме и советских ученых на станциях Мирный, Новолазаревская и Восток с применением наземной аппаратуры и аэрозондов. Все это позволит окончательно разрешить загадку «озонной дыры» над Антарктидой, тем самым сохранить защитный слой биосферы, а нашу Землю — живой планетой.

На климатические процессы существенное влияние могут оказывать орошение и осушение территорий, а также строительство крупных водохранилищ. В засушливых районах земного шара при орошении из-за значительного увеличения затрат на испарение снижается температура земной поверхности, что приводит к понижению температуры и повышению относительной влажности нижнего слоя воздуха. Водохранилища оказывают влияние на микроклимат прилегающих территорий, особенно в зонах с недостаточным увлажнением. Установлено, что крупные и искусственные водоемы увеличивают влажность воздуха, снижают температуру на 2—3° в дневное время в прибрежной полосе (5—10 км). Суточный ход температуры воздуха становится более сглаженным за счет дневного охлаждения и ночного нагревания воздуха водным бассейном.

Человек начинает управлять погодой. Уже имеются методы и способы активного воздействия человека на облака и туманы, получения дополнительных атмосферных осадков, предотвращения града. Применяются противоградовые ракеты в Грузии, Армении и других республиках нашей страны, а также за рубежом, что позволяет защищать от града десятки тысяч гектаров виноградников. Человек противостоит суховеям, занимаясь полезащитным лесоразведением.

Благодатные капли дождя всегда радовали человека, но в некоторых районах земного шара дожди превратились в серьезную опасность. Возникла сложная и трудная в своем решении проблема кислотных дождей. Техногенное поступление серы в атмосфе-

ру Земли достигает 75—100 млн. т в год. Около 60% этих выбросов связано с сжиганием угля, еще 30% — нефтепродуктов, оставшиеся 10% приходятся на предприятия химической промышленности и металлургии. Проблема кислотных дождей на международном уровне была впервые поднята Швецией на Конференции ООН по окружающей среде, проходившей в Стокгольме в 1972 г. С тех пор она превратилась в одну из главных природоохранных проблем человечества. Помимо техногенных источников, естественные выбросы в атмосферу в среднем в год составляют 80—280 млн. т серы и 20—90 млн. т азота (в виде окислов). Таким образом, в настоящее время выбросы в атмосферу азотных и сернистых соединений между природными и техногенными источниками распределяются примерно поровну. В результате сжигания горючих ископаемых в атмосферу планеты поступает около 20 млн. т азота в год. Это все порождает серьезные локальные и региональные осложнения в промышленно развитых странах.

Кислотные дожди, т. е. серная и азотная кислоты, растворенные в атмосферных осадках, губительно действуют на живые организмы водоемов, наносят ущерб лесной растительности и сельскохозяйственным культурам, наконец, все эти вещества представляют определенную опасность для здоровья человека (рис. 35). Сотни озер во многих районах Скандинавии, юго-востока Канады, США, Шотландии превратились в кислотные водоемы. С повышением кислотности воды быстро возрастает содержание алюминия, что приводит к многочисленным заморам рыб в шведских озерах. Кроме того, повышение концентрации алюминия в воде приводит к сокращению первичной продукции, от которой зависит жизнь всех обитателей пресноводных водоемов. Повышение кислотности вод привело к тому, что в 1750 из 5000 озер Южной Норвегии полностью исчезла рыба, в Швеции серьезно пострадал рыболовный промысел в 2500 пресноводных озерах.

Кислотные дожди оказывают также отрицательное влияние на почвы и растительность. Повышение содержания алюминия в почвах приводит к снижению жизнестойкости растений, стимулирует процессы гниения, снижает продуктивность лесных экосистем. Кислотные дожди усиливают выщелачивание элементов минерального питания из листьев, особенно токсичны для хвойных пород (сосна) и усиливают вынос минеральных веществ из почвы.

Повышенная кислотность ускоряет коррозию металлических конструкций зданий, мостов, плотин, линий электропередач и др. Под влиянием кислотных дождей разрушаются памятники архитектуры, особенно сложенные карбонатными породами. Так, постепенно уничтожаются кислотными дождями знаменитый Парфенон в Афинах, мраморная колонна Траяна в Риме, скульптурные группы в Кракове и многие другие. Ряд стран предпринимает различные меры путем внесения известковых удобрений в озера, реки, что несколько снижает ущерб, наносимый кислотными дождями. Швеция за 1976—1982 гг. реализовала программу по извест-

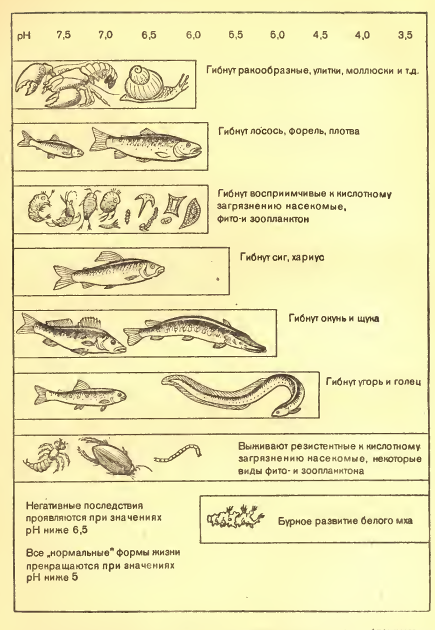


Рис. 35. Влияние кислотности материковых вод на выживание организмов (Из доклада Министерства сельского хозяйства Швеции на конференции ЮНЕП.— Стокгольм, 1982 г.)

кованию водоемов, что позволило устранить избыточную кислотность в 1500 озерах страны. В Англии создана первая очередь системы наблюдения за кислотными дождями.

Воздействие на гидросферу и водный баланс. Ресурсы пресных вод Земли формируются в процессе глобального круговорота воды, который является опреснителем вод и способствует их непрерывному возобновлению, о чем уже подробно говорилось в предыдущих главах. Однако общее потребление речных вод из года в год возрастает во всех районах мира. С начала нынешнего века потребление пресных вод возросло более чем в 6 раз, а в ближайшие 20—30 лет возрастет еще по меньшей мере в 1,5 раза.

На изменение естественного режима водоемов суши и водного баланса планеты влияют распашка целинных земель и их сельскохозяйственное освоение, агротехнические и лесомелиоративные мероприятия, использование вод для орошения, обводнение засушливых территорий, создание водохранилищ, развитие городов, загрязнение пресных вод промышленными и бытовыми стоками. Все это создает в некоторых районах земного шара сложную проблему водного голода и заставляет человека разрабатывать эффективные меры оптимизации водопотребления.

Антропогенные преобразования вод уже достигли глобальных масштабов. При рассмотрении круговорота воды мы вкратце уже касались вопроса о хозяйственном звене и возрастании водопотребления в мире. По данным таблицы 22 можно видеть, что к

Таблица 22

Динамика водопотребления в мире по видам хозяйственной деятельности, км³/год
(по *И. А. Шикломанову*)

Водопотребители	1900 г.	1960 г.	1980 г.		2000 г.	
			км³/год	%	км³/год	%
Сельское хозяйство	525 / 409	1550 / 1180	2290 / 1730	68,9 / 88,7	3250 / 2500	62,6 / 86,2
Промышленность	36,2 / 3,5	330 / 24,9	710 / 61,9	21,4 / 3,1	1280 / 117	24,7 / 4,0
Коммунальное хозяйство	16,1 / 4,0	82 / 20,3	200 / 41,1	6,1 / 2,1	441 / 64,5	8,5 / 2,2
Водохранилища	0,3 / 0,3	23 / 23	120 / 120	3,6 / 6,1	220 / 220	4,2 / 7,7
Общее (округленно)	579 / 417	1990 / 1250	3320 / 1950	100 / 100	5190 / 2900	100 / 100

Примечание: в числителе — полное, в знаменателе — безвозвратное водопотребление.

2000 г. водопотребление, по сравнению с 1900 г., возрастет почти в 10 раз. При этом около 70% пресной воды потребляет сельское хозяйство. Орошаемое земледелие является главным потребителем водных ресурсов, причем в отличие от промышленности большая часть воды при орошении используется безвозвратно.

Человек осуществляет преобразование вод гидросферы путем строительства гидротехнических сооружений, в частности водохранилищ. Многие древние цивилизации развивались в аридных областях, где орошение земель было жизненной необходимостью. Первые водохранилища были созданы в Древнем Египте более 3000 лет до н. э., что позволило египтянам освоить прежде сухие земли долины Нила. Несколько позднее началось создание водохранилищ в Месопотамии, на Ближнем Востоке, в Китае, Индии, Японии и других странах с целью орошения земель и борьбы с наводнениями. В России при Петре I были составлены проекты соединения рек Москвы и Волги, Волги и Дона. Первое водохранилище в России было создано в 1703—1709 гг. М. И. Сердюковым на Вышневолоцкой системе, соединившей Волгу с Балтийским морем.

Современные водохранилища решают комплексные задачи: энергетики, промышленного и бытового водоснабжения, судоходства, орошения земель, рыболовства, создания зон отдыха и др. По имеющимся данным, в настоящее время в мире имеется и строится около 30 000 водохранилищ, объемом каждое более 1 млн. м³. Общий объем вод в водохранилищах земного шара уже превысил 6000 км³. Однако 95% суммарного полного объема вод во всех водохранилищах мира приходится на крупные водохранилища (емкостью более 100 млн. м³ каждое). Интересно распределение крупных водохранилищ по отдельным материкам и странам:

Европа — 512 (в т. ч. СССР — 132).
Азия — 647 (в т. ч. СССР — 105, Индия — 202, Китай — 147).
Африка — 115.
Северная Америка — 887 (в т. ч. США — 689).
Южная Америка — 211 (в т. ч. Бразилия — 92).
Австралия и Океания — 70.

В СССР в 237 крупных водохранилищах содержится 1173 км³ вод. В нашей стране находится самое крупное долинное водохранилище земного шара по объему вод — Братское, не считая озер-водохранилищ (Виктория — 204,8 км³), а Куйбышевское занимает второе место в мире по площади водного зеркала (табл. 23).

Строительство водохранилищ позволило человеку искусственно регулировать речной сток, при этом особое значение водохранилища имеют для водоснабжения, для борьбы с наводнениями, для ирригации, рекреационного использования. Достаточно отметить, что в СССР орошается около 18 млн. га земель, из них примерно 8 млн. га — на базе водных ресурсов водохранилищ. В целом пока площади водохранилищ в мире составляют всего 0,3% земельных ресурсов земного шара, но зато они увеличивают

Таблица 23

Крупные водохранилища мира

Водохранилище	Объем вод (км³)	Площадь (км²)
Братское (СССР)	169,3	5470
Вольта (Гана)	148,0	8480
Кариба (Замбия)	160,3	4450
Насер (Египет)	157,0	5120
Куйбышевское (СССР)	58,0	5900

устойчивый речной сток на 27%. Однако крупные водохранилища, как и каналы, оказывают и серьезные отрицательные воздействия на окружающую среду: изменяют режим грунтовых вод в прибрежной полосе, влияют на почвы и растительные сообщества, их акватории занимают большие участки плодородных земель и т. д. Эти проблемы в последние годы особенно обострились и стали вызывать обоснованное беспокойство общества. Многие устоявшиеся представления приходится пересматривать и уделять повышенное внимание природоохранным аспектам эксплуатации водохранилищ с целью уменьшения их воздействия на среду.

Эффективность охраны водных ресурсов тесно связана с их экономией во всех отраслях хозяйственного звена круговорота воды. Особенно это относится к орошаемому земледелию, требующему в наши дни более 70% мирового безвозвратного расхода воды. Поэтому во многих странах ведутся поиски новейших прогрессивных технологий полива, так, капельное орошение дает 3—4-кратную экономию воды по сравнению с современными способами полива. Для решения проблем рационального водопользования необходимо тесное объединение усилий ученых разных стран.

Воздействие на почвы и растительный покров. В результате воздействия человека на живое вещество биосферы существенно меняется естественная жизнь земной поверхности — ее почвенный и растительный покров. На нашей планете только 10% земель находятся под пашней и в сельскохозяйственной культуре (рис. 36). Земледелие мира на 40% сосредоточено на четырех типах почв: черноземах, темных почвах прерий, серых лесных и бурых лесных почвах. Эти типы почв распаханы в среднем на 31—45%. Лучшие почвы распаханы, и в дальнейшем человеку придется осваивать менее благоприятные земельные ресурсы, применяя искусственное орошение, мелиорацию, рассоление почв и т. д.

За 1961—1983 гг. площадь пашни увеличилась на 0,08, а пастбищ на 0,12 млрд. га, а облесенность суши сократилась на 0,1 млрд. га. Несмотря на огромные усилия, прирост площадей возделываемых земель был незначительным, и поэтому обеспеченность ими человечества снизилась с 0,45 до 0,31 га/чел.

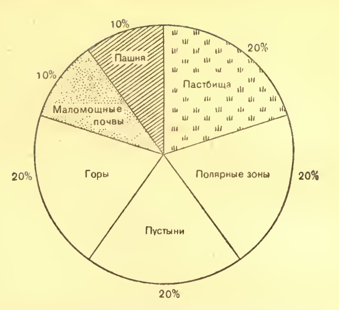


Рис. 36. Распределение земельных ресурсов на поверхности суши (по *В. А. Ковде*)

СССР располагает обширным земельным фондом, на долю сельскохозяйственных угодий приходится более 600 млн. га, из которых под пашней и многолетними насаждениями занято 232 млн. га. При этом среди возделываемых земель 17,5 млн. га орошаются. Неблагоприятным фактором для земледелия является то, что почти 70% всех сельскохозяйственных угодий, в том числе 60% пашни, находится в засушливых районах.

Научно обоснованное использование земельных ресурсов повышает их природный потенциал и улучшает качество. Однако при неправильной обработке земель они разрушаются, что связано с развитием эрозии, вторичного засоления или прямым уничтожением почвы при открытой добыче полезных ископаемых. Например, в Кузбассе угольными разрезами в настоящее время занято более 30 тыс. га земель.

Значительным резервом для земледелия являются болота и заболоченные земли. Но при несовершенной мелиорации происходит замедление процессов формирования новых почв и даже вторичное их заболачивание. Земледелие также оказывает существенное влияние на почвы: слишком тяжелые сельскохозяйственные механизмы (массой до 8—14 т) переуплотняют почву, из-за чего урожаи культур иногда снижаются на 30—35%. Чрезмерное внесение удобрений (в будущем может достичь 140 млн. т в год) может вызвать определенные изменения в почвах, что приведет к нарушению баланса элементов в почве и снижению урожайности сельскохозяйственных культур. Вредное действие на почвы оказы-

вает широкое применение пестицидов для борьбы с вредителями, сорняками и болезнями растений. При избыточном применении пестицидов в сельском хозяйстве создаются предпосылки для их накопления в почвах, а также в ближайших водоемах и растительном покрове.

В последние годы обострилась проблема засоления почв в аридных районах. Во всем мире подвержено засолению 40% орошаемых земель. Даже при слабом засолении почв урожайность культур резко снижается: хлопчатника — на 50—60%, пшеницы — на 50—60%, кукурузы — на 40—50%, а при более сильном засолении некоторые культуры, как, например, пшеница, погибают совсем. Основной причиной вторичного засоления почв является подъем минерализованных грунтовых вод, возникший в результате нарушения водного баланса территории фильтрационными водами оросительных систем и орошаемых земель.

Следует отметить, что в мире наблюдается тенденция сокращения площади продуктивных земель за счет интенсивной деятельности человека. Только в СССР общая площадь земель, нарушенных горными разработками, превышает 1 млн. га. Поэтому возникла проблема рекультивации техногенных ландшафтов. Конечная цель этих работ — создание на поверхности отвалов продуктивных биоценозов, преимущественно сельскохозяйственного и лесохозяйственного назначения.

Лесонасаждения на отвалах горных пород выполняют важную мелиоративную, почвозащитную и оздоровительную роль. Наряду с указанными видами рекультивации на месте старых карьеров иногда проводится водная рекультивация, которая преследует следующие задачи: создание резервов промышленных вод или питьевой воды, создание рекреационных центров и зон. Искусственные озера в бывших горных карьерах в сочетании с лесопосадками на отвалах могут служить зонами отдыха.

За последние годы в нашей стране достигнуты определенные успехи по рекультивации нарушенных земель, общая площадь которых сейчас составляет около 100 тыс. га. Например, в Грузии на рекультивированных площадях Чиатурского марганцевого месторождения получены урожаи винограда до 50 ц с га, что в 2 раза превышает обычные урожаи на зональных почвах. Полноценные лесонасаждения местами созданы на отвалах в Эстонии, на Украине, Урале, в Кузбассе. В Эстонии на площади более 2000 га для посадок на отвалах используются 33 вида древесных пород (сосна, лиственница, ольха, береза, облепиха и др.). На Украине проводятся работы по озеленению терриконов с применением таких растений, как белая акация, дуб, вяз, ясень, тополь, тамариск, шиповник.

Аналогичные работы по рекультивации нарушенных земель проводятся и в других странах. Поскольку в мире происходит дальнейший рост добычи многих полезных ископаемых открытым способом, значение рекультивационных исследований и мероприятий должно приобретать возрастающее значение, являясь не-

отъемлемой частью охраны и воспроизводства земельных ресурсов.

Роль растений в биосфере Земли огромна благодаря их свойству осуществлять фотосинтез. Растительность оказывает влияние на все компоненты природного комплекса биосферы — атмосферу, гидросферу, почву, животный мир. Велика роль растений в жизни человеческого общества. Они создают необходимую среду существования и снабжают его различными веществами. Леса занимают около $^1/_3$ поверхности континентов. Общая их площадь на земном шаре оценивается величиной 4 229 167 тыс. га. Леса представляют собой один из видов возобновляемых ресурсов биосферы. Хотя леса и являются самыми продуктивными биологическими формациями на земном шаре, но в связи с интенсивной вырубкой их человеком они в ряде случаев не могут реализовать свою способность к самовосстановлению. С каждым годом в мире возрастают потребности в древесине, а площади лесов сокращаются. Особенно быстро уничтожаются влажные тропические леса, что связано с переводом занимаемых ими земель в сельскохозяйственное использование, а также в связи со строительством дорог и населенных пунктов (табл. 24).

Таблица 24

Площади и скорости сведения тропических лесов в крупнейших районах суши (по *С. П. Горшкову*)

Регион	Площадь лесов (млн. га)	Скорость обезлесивания (млн. га/год)	%
Центральная Америка	60	1,0	1,7
Южная Америка	526	8,9	1,7
Западная Африка	100	0,9	0,9
Восточная Африка	88	0,8	0,9
Западная Азия	31	1,1	3,5
Юго-Восточная Азия	330	7,1	2,1

Установлено, что сведение лесов приводит к изменению альбедо земной поверхности и нарушает баланс углерода в атмосфере, а также усиливает эрозионные процессы. Уничтожение лесов в Индии привело к увеличению современной денудации суши почти в 5 раз, что способствует заиливанию водохранилищ и т. д.

В рамках программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» на территории Венесуэлы в бассейне Амазонки учеными ряда стран проведен уникальный эксперимент по изучению экосистемы влажных тропических лесов. С помощью «меченых атомов» питательных веществ (кальций, фосфор) было установлено, что свыше 99% их

были абсорбированы корневым слоем. Это показывает, что практически все питательные вещества, высвобождающиеся в результате разложения органического вещества, усваиваются непосредственно корнями растений, минуя минеральную часть почвы. Корневой слой (мощностью до 30 см) во влажных тропических лесах предотвращает потерю питательных веществ, не давая им уйти из системы. Эти исследования позволили выявить самую большую слабость экосистемы тропических лесов — при их уничтожении, несмотря на жизнестойкость и обилие биомассы, продуктивность этих систем резко падает. Влажнотропические леса оказались менее устойчивыми к антропогенному воздействию по сравнению с лесами умеренных широт, и некоторые исследователи их относят даже к категории невосполнимых ресурсов.

Человек понял, что его существование на планете связано с жизнью лесных формаций. Поэтому в последние годы во многих странах мира стали проводиться работы по инвентаризации тропических лесов, а также по искусственному лесоразведению. Например, в США площадь лесов уменьшается в среднем на 2,8 млн. га в год, но ежегодно осуществляются лесопосадки на площади 650—750 тыс. га. В последние десятилетия в европейских странах широко стало проводиться лесовосстановление и организация высокопродуктивных лесных плантаций (табл. 25).

Таблица 25

Динамика лесистости некоторых стран Европы
(по *С. П. Горшкову*)

Страна	Лесистость (%)		Прирост (тыс. га)
	1974	1983	
НРБ	34,4	34,9	61
ВНР	16,7	17,7	87
ПНР	28,2	28,6	108
Финляндия	75,8	76,3	161
Италия	21,4	21,7	81
Испания	30,0	31,3	625
ФРГ	29,7	30,0	74
СФРЮ	35,3	36,6	322

В последнее время появились попытки количественно оценить нехозяйственную стоимость лесов. Ученые в ФРГ подсчитали, что рекреационный лес дает доход в 20 раз больше, чем был бы доход от использования его древесины. Прогулки в пригородном лесу способствуют повышению производительности труда, а также уменьшают затраты на медицинскую помощь. Доходы зарубежных национальных парков в 10 раз выше, чем выручка от прямой эксплуатации природных ресурсов, в частности от лесоразработок. Ни одно самое эффективное лекарство не заменит лечебного действия природных факторов. Воздух в хвойных лесах

не только очищен от пыли и газов, вредных примесей, но и насыщен ионизированным кислородом, озоном, летучими целебными веществами — фитонцидами, убивающими болезнетворных микробов.

Однако под прямым или косвенным воздействием человека многие виды растений стали редкими или исчезающими. Установлено, что на нашей планете под угрозой исчезновения находится не менее 25—30 тыс. видов сосудистых растений, или 8—10% общего числа их на Земле. В СССР также многие виды растений стали редкими. Во второе издание Красной книги СССР (1984 г.) вошло около 603 видов редких высших растений. К ним относятся: водяной орех, железное дерево, шелковая акация, дуб (имеретинский, понтийский, каштанолистный), самшит гирканский, платан восточный, падуб, фисташка, тис ягодный, сосна (пицундская, эльдарская, меловая, могильная), пихта Семенова, лапина крылоплодная, туранга и др. Охрана редких и исчезающих видов растений осуществляется главным образом в различных типах охраняемых территорий (заповедниках, заказниках и др.).

Воздействие на животный мир. Вместе с растениями животные играют исключительную роль в миграции химических элементов, которая лежит в основе существующих в природе взаимосвязей. Так же значительна роль животных в жизни человека. Многие из них служат важным источником питания и технического сырья (сельскохозяйственные животные, рыбы, пушные звери, дичь и др.). Фауна диких животных является естественным источником для одомашнивания ценных пушных зверей (соболь, норка, песец, лисица и др.).

Однако хозяйственная деятельность человека сильно повлияла на животный мир нашей планеты. По данным Международного союза охраны природы, с 1600 г. на Земле вымерло 94 вида птиц и 63 вида млекопитающих. Особенно пострадала фауна океанических островов. Например, на Гавайских островах вымерло 26 видов птиц, или 60% всей фауны. Под влиянием антропогенного фактора на Маскаренских островах (Индийский океан) вымерло 86% местных видов птиц, что является самым высоким в мире процентом исчезнувших видов. Воздействие человека на животных выражается как в прямом преследовании и нарушении структуры популяции, так и через изменение мест их обитания. В последнее время к общим изменениям условий обитания добавился мощный фактор загрязнения окружающей среды, особенно пестицидами.

Все вышеуказанные факторы привели к вымиранию многих животных: тарпана, тура, зебры квагту, сумчатого волка, морской норки, европейского ибиса, голубой лошадиной антилопы, морской (стеллеровой) коровы и др. Последняя — крупный представитель отряда сирен — достигала в длину 7—8 м и массы до 4 т. Впервые это животное в 1741 г. описал натуралист Г. Стеллер — врач русской экспедиции Витуса Беринга. Вкусное мясо

стеллеровых коров, доверчивость и предопределили их гибель. Интенсивная охота привела к тому, что к 1768 г., т. е. через 27 лет после их открытия, морских коров не стало. Та же участь постигла многих птиц (нелетающий голубь — дронт, бескрылая гагарка, очковый баклан, каролинский попугай и др.). В результате деятельности человека на материках возросло количество вымирающих и редких видов животных. Так, в Северной Америке на грани исчезновения были бизоны, белый американский журавль, калифорнийский кондор; в Южной Америке — викунья, крупные кошки. В малых количествах сохранились лемуры на Мадагаскаре. Угрожающе сократилась в Азии численность таких животных, как носорог, лев, тигр, гепард, кулан, лошадь Пржевальского и многие другие.

В нашей стране уже к началу XX в. многие виды полезных животных стали редкими, а некоторые очутились на грани исчезновения. После Великой Октябрьской революции все редкие виды животных были взяты под особую охрану. Охота на них была полностью запрещена, а для сохранения и воспроизводства наиболее ценных видов (зубр, речной бобр, соболь, выхухоль, кулан) были организованы заповедники. Особенно интересна судьба зубра. Последний зубр был убит в Беловежской пуще в 1919 г., а на Кавказе — в 1927 г. Сохранились лишь 48 голов в зоопарках, зубру грозило полное исчезновение с лица планеты. Началась титаническая работа по восстановлению численности зубра за счет особей, содержащихся в зоопарках. К настоящему времени число зубров в СССР превысило 800 голов. Всего в мире насчитывается более 2000 голов зубра, из них 80% сконцентрировано в Центральной Европе. Увеличилась численность амурского тигра (на начало 80-х гг. превысила 200 голов), белого медведя (только в Арктике около 25 000 особей), калана, или морской выдры. В результате полного запрета промысла калана в СССР в настоящее время его численность возросла до 5000 особей на Курилах и до 3000 — на Камчатке. А ведь к концу XIX в. калан был почти полностью истреблен, он сохранился лишь у Командорских и Курильских островов, а за пределами нашей страны — на Алеутских островах. Эти примеры показывают наглядно, как человек может успешно решать трудную задачу по охране вымирающих и редких видов животных. Численность многих видов ценных животных (речной бобр, соболь, лось, сайгак и др.) была не только восстановлена, но и большинство их снова вошло в число промысловых видов. Однако в нашей стране еще имеются многие виды животных, которые требуют дальнейшей охраны и воспроизводства.

В Красную книгу СССР включено 94 вида млекопитающих, 80 видов птиц, 9 видов рыб, 37 видов пресмыкающихся. Из млекопитающих — это выхухоль, красный волк, закавказский бурый медведь, амурский лесной кот, каракал, туркестанская рысь, снежный барс (ирбис), амурский тигр и др. Из птиц — розовый пеликан, черный аист, фламинго, степной орел, орлан-белохвост, стерх,

10 Заказ № 1993

дрофа, розовая чайка и др. В соответствии с Конституцией СССР дикие животные являются государственной собственностью, и отношение к ним должно быть бережливое, а использование — экономным. Помимо эффективных мер по охране и рациональному использованию животного мира, важное значение имеет и воспитание советских людей в духе гуманного отношения к животным.

Таким образом, деятельность человека достигла глобальных масштабов воздействия на биосферу, изменяя круговорот веществ, водный баланс планеты, оказывая сильное влияние на почвы, растительность и животный мир. Антропогенная деятельность создала новые токсические источники загрязнения биосферы, что в конечном счете может создать угрозу существования самого человека. На рисунке 37 показаны 10 главных загрязнителей окружающей среды. Многие из них по цепям питания в конечном счете попадают в человеческий организм (перенос радиоактивных веществ, тяжелых металлов, пестицидов и др.). Имеются случаи отравления ртутью, содержащейся в хлебных злаках, в морской рыбе (Япония, США, Канада). Пестициды и родственные им соединения представляют большую угрозу для биосферы вследствие их медленного разрушения (время полураспада ДДТ более 10 лет) и способности концентрироваться в белковых тканях. В результате происходит увеличение концентрации пестицидов по мере их перемещения по цепям питания. Учеными подсчитано, что содержание ДДТ возрастает по трофическим уровням (отношение концентрации ДДТ в организме к его концентрации в воде). Оно может быть выражено для фитопланктона — 800, креветок — 3200, рыб-хищников — 24 000—42 000 раз, а для водоплавающих птиц — даже до 520 000 раз. Характерной особенностью ДДТ является то, что он не вступает в химические реакции с водой и поэтому широко распространяется в биосфере — от полярных льдов до глубоководных впадин. В СССР, Европе, США специальным законодательством запрещено использование ДДТ, альдрина и других высокотоксичных веществ.

Пестициды весьма отрицательно влияют на лесные экосистемы. Специальные исследования в лесном заповеднике Хаббард-Брук (США) показали, что применение некоторых пестицидов приводит к тому, что сток воды из лесной экосистемы увеличивается на 26—41%; возрастает также степень выноса минеральных веществ (кальция, магния, калия). Вероятно, в результате антропогенной деятельности большое количество элементов, которые могли бы накапливаться в почве и в тканях растений, выводятся из природных экосистем. Даже эти отдельные примеры показывают, насколько серьезна проблема загрязнения окружающей среды. Человек для своего дальнейшего существования должен решить эту трудную проблему путем строительства очистных сооружений, применения новейших агротехнических методов, выве-

Рис. 37. Десять главных загрязнителей биосферы. Графические символы взяты из «Альбома символов» Г. Дрейфуса

1 УГЛЕКИСЛЫЙ ГАЗ		Образуется при сгорании всех видов топлива. Увеличение его содержания в атмосфере приводит к повышению ее температуры, что чревато пагубными геохимическими и экологическими последствиями
2 ОКИСЬ УГЛЕРОДА		Образуется при неполном сгорании топлива. Может нарушить тепловой баланс верхней атмосферы.
3. СЕРНИСТЫЙ ГАЗ		Содержится в дымах промышленных предприятий. Вызывает обострение респираторных заболеваний, наносит вред растениям. Разъедает известняк и нек. ткани.
4. ОКИСИ АЗОТА		Создают смог и вызывают респираторные заболевания и бронхит у новорожденных. Способствуют чрезмерному разрастанию водной растительности.
5. ФОСФАТЫ		Содержатся в удобрениях. Главный загрязнитель вод в реках и озерах.
6. РТУТЬ		Один из опасных загрязнителей пищевых продуктов, особенно морского происхождения. Накапливается в организме и вредно действует на нервную систему.
7. СВИНЕЦ		Добавляется в бензин. Действует на ферментные системы и обмен веществ в живых клетках.
8. НЕФТЬ		Приводит к пагубным экологическим последствиям, вызывает гибель планктонных организмов, рыбы, морских птиц и млекопитающих.
9. ДДТ И ДРУГИЕ ПЕСТИЦИДЫ		Очень токсичны для ракообразных. Убивают рыбу и организмы служащие кормом для рыб. Многие являются канцерогенами.
10. РАДИАЦИЯ		В превышенно допустимых дозах приводит к злокачественным новообразованиям и генетическим мутациям.

дения солеустойчивых сортов культурных растений, создания мало- и безотходной технологии производства по принципу естественных круговоротов и т. д.

В 1948 г. был создан Международный союз охраны природы и природных ресурсов, главной задачей которого являлось содействие оптимальным взаимоотношениям между человеком и природой. В 1971 г. ЮНЕСКО организовала межправительственную программу «Человек и биосфера», посвященную изучению воздействия человека на природную среду и природные ресурсы разных районов земного шара с целью ее охраны. В этих исследованиях принимают участие ученые из многих стран мира, решая сложные глобальные проблемы. Советские исследователи активно участвуют в этой программе по многим научным проектам. В СССР в 1973 г. при президиуме Академии наук СССР организован Научный совет по проблемам биосферы. Совет проводит экспертную оценку различных природоохранных мероприятий в нашей стране.

В рамках программы ЮНЕСКО международной формой охраняемых территорий являются биосферные заповедники. В настоящее время в мире создано 263 биосферных заповедника в 67 странах. В СССР статус биосферных получили 22 заповедника, о чем им выданы специальные свидетельства — так называемые сертификаты ЮНЕСКО. Из первых биосферных заповедников можно назвать Центрально-Черноземный, Березинский, Кавказский, Репетекский, Сихотэ-Алинский, Сары-Челекский, Приокско-Террасный и др. Главными задачами, стоящими перед биосферными заповедниками, являются сохранение и восстановление уникальных экосистем, сохранение их генофонда, проведение экологического мониторинга, изучение влияния антропогенных факторов на экосистемы и др. Поэтому, в отличие от обычных заповедников, в биосферных должны быть площади, испытывающие антропогенное воздействие.

Существуют и другие типы охраняемых территорий. На начало 1983 г. в 124 странах мира было более 2600 крупных заповедных территорий общей площадью свыше 4 млн. км², что составляет 3% суши нашей планеты. Очевидно, эта площадь еще больше, так как не учтены многие небольшие заповедные участки ряда стран.

Заповедники — основная форма охраняемых территорий в СССР. Это своеобразные эталоны нетронутой природы, территории с уникальными природными ландшафтами. В них исключается любая хозяйственная деятельность человека. Основная задача — охрана редких и исчезающих видов, сохранение генофондов растений и животных. Многие заповедники были организованы для охраны исчезающих видов животных: Баргузинский — для сохранения и умножения соболя, Воронежский — бобра, Хоперский — выхухоли и др. Первые заповедники были созданы уже при Советской власти: в 1919 г. — организован Астраханский заповедник, в 1920 г. — Ильменский. К настоящему времени в СССР создана целая система заповедников в количестве око-

ло 160, общая площадь которых составляет около 17 млн. га. Они располагаются в различных природных зонах (тундра, тайга, смешанные и широколиственные леса, степи, пустыни, горные страны).

Памятники природы — это отдельные природные объекты (водопады, пещеры, гейзеры, вековые деревья, уникальные ущелья и др.), имеющие научное, историческое и культурно-эстетическое значение. Впервые термин «памятник природы» ввел знаменитый путешественник А. Гумбольдт. В нашей стране зафиксировано несколько тысяч памятников природы. Например, «Капова пещера» на Урале, «Удунасский дуб» в Эстонии, Колыванское озеро в предгорьях Алтая с причудливыми гранитными скалами по берегам и др. Памятники природы существуют во многих странах мира, при этом они могут занимать значительные территории («Ущелье динозавров» в США — площадь 82 тыс. га).

Для заказников характерен частичный режим охраны. Они создаются для сохранения, воспроизводства и восстановления отдельных видов растений и животных. В СССР система заказников широко используется в охотничьем хозяйстве и служит средством увеличения численности охотничье-промысловых животных. В настоящее время в СССР имеется свыше 2700 заказников площадью более 40 млн. га. Заказники могут быть различного назначения: комплексные, ботанические (лесные, степные, болотные), геологические, гидрологические, зоологические, ландшафтные и др. Республиканские заказники организуются на срок до 10 лет, а местные — до 5 лет. В случае необходимости срок заказа может быть продлен.

Резерваты во многих странах мира по своему назначению и режиму охраны территории близки заказникам. Лишь в некоторых странах резерваты приближаются к понятию «заповедник», в частности в Финляндии и США. Много лесных, ландшафтных, зоологических, озерных резерватов в Англии, ФРГ, Швеции, США и других странах. В резерватах Австралии специально охраняются редкие сумчатые млекопитающие. Различные животные и птицы охраняются в резерватах Индии, Бирмы, Индонезии, Шри-Ланки.

Национальные (природные) парки. В большинстве стран мира основной категорией охраняемых участков природы являются национальные парки. Они представляют собой участки территории, выделенные для сохранения природы в оздоровительных и эстетических целях, а также в интересах науки, культуры и просвещения. Первый в мире национальный парк был создан в 1872 г. в верховьях реки Йеллоустон в США, за ним последовали национальные парки в Канаде, Африке, Австралии, Новой Зеландии. Сейчас в мире насчитывается более 2300 национальных парков. Близки к национальным паркам по своим задачам, организации и характеру деятельности государственные природные национальные парки Советского Союза. На начало 1986 г. в СССР создано 15 национальных парков (Лахе-

мааский, Гауя, Литовский, Севан, Кодры, Прибайкальский, Сочинский, Карпатский и др.). Предполагается в ближайшее время в СССР создать еще 20—25 национальных парков.

Другими охраняемыми территориями являются водоохранные леса в верховьях и поймах рек, леса курортных местностей, полезащитные лесные полосы, зеленые зоны вокруг городов, берега водоемов и др. Разнообразно их значение в сохранении отдельных компонентов ландшафтов, а также велика их роль в создании оптимальной для жизни людей окружающей среды.

Профессор Б. Гржимек, посетивший многие заповедники Советского Союза, писал: «Первозданную природу надо беречь не меньше, чем мы бережем картины Рафаэля, Кельнский собор, индийские храмы; их при желании можно восстановить. Уничтожая или ставя под угрозу многие виды животных на Земле, люди обедняют тем самым не только окружающую нас Природу, но и себя самих».

Глава IX

НООСФЕРА — СФЕРА РАЗУМА

> В настоящее время наиболее актуальным становится разработанное В. И. Вернадским учение о биосфере и неизбежности ее эволюционного превращения в принципиально измененную оболочку Земли, управляемую коллективным разумом человечества,— ноосферу.
>
> *А. Л. Яншин*

Постепенное развитие живого вещества в пределах биосферы Земли приводит к изменению качественного состояния самой биосферы, к переходу ее в ноосферу. Под ноосферой понимают сферу взаимодействия природы и общества, в котором разумная деятельность людей становится главным, определяющим фактором развития. Название ноосфера происходит от греческого «ноос» — разум и обозначает таким образом сферу разума. Находясь под впечатлением лекций В. И. Вернадского, прочитанных в Сорбонне, французский ученый-математик Э. Леруа в 1927 г. ввел понятие ноосферы, подразумевая под ним современную геологическую стадию развития биосферы. Он отмечал, что пришел к такому представлению вместе со своим другом — геологом и палеонтологом П. Тейяром-де-Шарденом, который в дальнейшем разработал собственные представления о ноосфере, изложенные им в книге «Феномен человека». В этой книге автор определил ноосферу как «новый покров», «мыслящий пласт, который, зародившись в конце третичного периода, разворачивается над миром растений и животных — вне биосферы и над ней».

Последнее издание книги П. Тейяра-де-Шардена вышло на русском языке в 1987 г. Однако представления этого автора о ноосфере в значительной мере носят идеалистический характер. В. И. Вернадский, развивая свое учение о биосфере, придавал понятию «ноосфера» вполне материалистическое содержание, которое должно учитываться нами в процессе перестройки среды и общества. В этом отношении ноосферу следует рассматривать как высшую стадию развития биосферы, связанную с возникновением и развитием в ней человеческого общества, которое, познавая законы природы и развивая технику до самого высокого уровня ее возможностей, становится крупнейшей планетарной силой, превышающей в скором времени по своим масштабам все известные геологические процессы. При этом человеческое общество начинает оказывать определяющее влияние на ход всех процессов в биосфере, глубоко изменяя ее своим трудом. Научное и практическое значение деятельности В. И. Вернадского как основателя

учения о биосфере состоит в том, что он впервые во всеоружии знаний своего времени глубоко обосновал *единство человека и биосферы.* Он отмечал, что сама живая материя как носитель разума составляет небольшую часть биосферы по весу.

Возникновение человеческого общества явилось результатом длительного развития живого вещества в пределах биосферы. Появление человека на Земле предопределило неизбежность возникновения нового состояния биосферы — переход ее в ноосферу, оболочку разума, охваченную социальной целенаправленной деятельностью самого человека. Однако периоду сознательной деятельности человека предшествовал длительный период его дикого, полудикого и в целом стихийного существования. В пределах биосферы возникла первоначально сфера первобытной деятельности человеческого общества, которая может быть названа антропосферой. Начало ей положило расселение человека по всей поверхности суши в результате использования огня. Овладев огнем, человек стал относительно независимым от климата и заселил все континенты, за исключением Антарктиды. Зародившись в дебрях Центральной Африки, как об этом свидетельствуют уникальные палеонтологические находки, человек распространился в область Европы, Азии, Австралии и при дальнейшем совершенствовании своего организма достиг просторов Северной и Южной Америки. Однако в ходе развития производительных сил антропосфера, охватившая стихийную деятельность человеческого общества, должна перейти в ноосферу — сферу сознательной деятельности. Становление ноосферы в современную нам эпоху теснейшим образом связано с овладением различными формами движения материи — первоначально механической, потом тепловой, химической, атомно-ядерной. На очереди овладение человеком биологической формой движения — создание живых форм с помощью методов и средств биотехнологии и генной инженерии. В связи с этим возникают новые по качеству круговороты вещества в биосфере.

Оценивая роль человеческого разума и научной мысли как планетарного явления, В. И. Вернадский пришел к следующим выводам:

«1. Ход научного творчества является той силой, которой человек меняет биосферу, в которой он живет.

2. Это проявление изменения биосферы есть неизбежное явление, сопутствующее росту научной мысли.

3. Это изменение биосферы происходит независимо от человеческой воли, стихийно, как природный естественный процесс.

4. А так как среда жизни есть организованная оболочка планеты — биосфера, то вхождение в нее в ходе ее геологически длительного существования, нового фактора ее изменения — научной работы человечества — есть природный процесс перехода биосферы в новую фазу, в новое состояние — в ноосферу.

5. В переживаемый нами исторический момент мы видим это более ясно, чем могли видеть раньше. Здесь вскрывается перед

нами «закон природы». Новые науки — геохимия и биогеохимия — дают возможность впервые выразить некоторые важные черты процесса математически».

После В. И. Вернадского накопился и накапливается огромный фактический материал по биосфере, по производственной деятельности человеческого общества. В своих главных проявлениях рождающаяся ноосфера характеризуется следующими признаками:

1. Возрастающим количеством механически извлекаемого материала литосферы — ростом разработки месторождений полезных ископаемых. Сейчас оно превышает 100 млрд. т в год, что в 4 раза больше массы материала, выносимого речным стоком в океан в процессе денудации суши.

2. Массовым потреблением продуктов фотосинтеза прошлых геологических эпох, преимущественно в энергетических целях. В связи с этим в биосфере химическое равновесие смещается в сторону, противоположную глобальному процессу фотосинтеза. Это неизбежно приводит к росту содержания углекислого газа в биосфере и уменьшению содержания свободного кислорода.

3. Процессы в ноосфере приводят к рассеиванию энергии Земли, а не к ее накоплению, что было характерным для биосферы до появления человека. Возникает важная энергетическая проблема.

4. В ноосфере в массовом количестве создаются вещества, ранее в биосфере отсутствующие, в том числе чистые металлы. Происходит металлизация биосферы.

5. Для ноосферы характерно появление новых трансурановых химических элементов в связи с развитием ядерной технологии и ядерной энергетики. Происходит овладение ядерной энергией за счет деления тяжелых ядер. В недалеком будущем предвидится получение термоядерной энергии за счет синтеза легких ядер, что позволит полностью отказаться от горючих полезных ископаемых в качестве источника энергии.

6. Ноосфера выходит за пределы биосферы в связи с огромным прогрессом научно-технической революции. Возникла космонавтика, обеспечивающая выход человека за пределы родной планеты. Происходит освоение космического — околосолнечного — пространства с непредвиденными возможностями. Создается принципиальная возможность создания искусственных биосфер на других планетах.

7. В целом, в связи с образованием ноосферы, наша планета переходит в новое качественное состояние. Если биосфера — это сфера Земли, то ноосфера — это сфера Солнечной системы. Ноосфера в будущем станет особой областью Солнечной системы в познавательных и производственных целях человеческого общества.

Ссылаясь на работы К. Маркса, В. И. Вернадский на склоне жизни писал, что понятие ноосферы находится в полном созвучии с основной идеей, проникающей социализм. Согласно Ю. П. Трусову, ближайшие задачи в развитии теории ноосферы

должны включать в себя следующие существенные обстоятельства:

1. Охват общества как природного явления категориями естественных наук — физики, химии, биологии и, особенно, наук о Земле.

2. Охват природы как объекта социального отношения и применение категорий общественных наук — прежде всего достижений политэкономии, педагогики, эстетики.

3. Рассмотрение природы окружающей среды, включая техногенные объекты, с позиций медицины, с точки зрения максимальной сохранности здоровья человека.

4. Выработка понятий и *количественных параметров*, характеризующих связь общества и природы.

В связи с перечислением этих проблем — проблем первостепенной важности — следует отметить, что особая роль в их решении должна принадлежать географии, главным образом благодаря органически присущей ей комплексности подхода к изучаемым объектам. Это относится как к физической географии, так и к географии экономической. Экономические связи в пространстве биосферы далеко не безразличны в новом учении о биосфере — ноосфере.

В настоящее время вопросы природопользования ставятся на повестку дня самой жизнью и становятся уделом ученых и инженеров разных специальностей. Однако противоречия современного общества до сего времени порождают вероятность использования науки и техники для развязывания мировых войн. Поэтому борьба за мир и запрещение ядерного оружия являются необходимыми условиями самого существования человечества и его вступления в ноосферу.

В дальнейшем существовании человеческого общества в обстановке рождающейся ноосферы немаловажное значение имеет духовная сторона — уровень развития культуры. Учение о биосфере связано непосредственно с проблемами нашей культуры в широком смысле слова, с проблемой сохранности бесчисленного наследия многих поколений нашего народа и всего человечества в виде произведений архитектуры, скульптуры, живописи, художественной литературы и фольклора. Расцвет ноосферы будет связан с периодом времени, когда в обществе будут господствовать мир, труд, свобода, равенство и братство, что неизбежно связано с освоением и глубоким пониманием культуры прошлого и настоящего. Председатель Советского комитета по программе ЮНЕСКО «Человек и биосфера», академик В. Е. Соколов совершенно справедливо замечает: «Пока наши представления о биосфере не будут закреплены в виде незыблемых моральных норм, мы вряд ли сумеем полностью побороть в себе безответственного потребителя. Значит, экологическая мораль нужна и нужно, чтобы она была сформулирована». Таким образом, учение о биосфере существенно затрагивает моральные стороны будущих поколений, которые на школьной скамье должны усвоить опыт поколений предшествовавших.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Не то, что мните вы, природа:
Не слепок, не бездушный лик —
В ней есть душа, в ней есть свобода,
В ней есть любовь, в ней есть язык...

Ф. И. Тютчев

Взаимоотношения Человека и Природы носят сложный характер и нуждаются в тщательном и полном изучении. Успехи человечества в потреблении природных ресурсов зависят от познания законов природы и умелого их использования. Человечество как часть природы может существовать только в постоянном взаимодействии с ней, получая все необходимое для жизни. Но современные масштабы и способы использования ресурсов биосферы таковы, что начинают нарушаться естественные равновесия и биосфере грозит потеря своего основного свойства — свойства самовозобновления. Тревога за сохранность биосферы отражена в ряде книг советских и зарубежных ученых. В этом отношении заслуживают внимания книги: Д. А. Арманд. «Нам и внукам» (1966), Ж. Дорст. «До того, как умрет природа» (1968), Р. Парсон. «Природа предъявляет счет» (1969), А. Ленькова. «Оскальпированная Земля» (1971), И. П. Герасимов. «Экологические проблемы в прошлой, настоящей и будущей географии мира» (1985), Л. Матье. «Сбережем Землю» (1985), Ю. А. Израэль, Ф. Я. Ровинский. «Берегите биосферу» (1987). Человечеству для своего дальнейшего существования необходимо заботиться о сохранении окружающей среды. И для этого требуются обширные знания в области экологии и широкое применение их во всех отраслях хозяйственной деятельности.

Создан Государственный комитет СССР по охране природы. Его председатель Ф. Т. Моргун, выступая на XIX конференции КПСС, с болью и тревогой говорил об экологических проблемах, которые не обошли и нашу страну. Создавшаяся в ряде регионов острая экологическая ситуация требует тесного взаимодействия комитетов охраны природы любого уровня с общественным движением за охрану окружающей среды.

Общее беспокойство в связи с ухудшением во многих странах мира состояния природной среды привело к созданию новой международной организации — Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП). Кроме того, успешно претворяется в жизнь межправительственная научно-исследовательская программа «Человек и

биосфера» (МАБ), начало которой было положено ЮНЕСКО в 1971 г. Основная цель этих программ — выработка научной основы рационального природопользования в пределах биосферы в гармонии с природой.

В рамках ЮНЕП важное место занимает создание глобальной системы мониторинга окружающей среды. Система мониторинга (от лат. «предупреждающий», «предостерегающий») выделяет антропогенные изменения в биосфере на фоне естественных колебаний. Основной целью мониторинга является получение информации об исходном состоянии окружающей среды, современном уровне ее загрязнения, тенденциях изменения качества. Такая информация необходима для оптимального управления географической средой и служит основой для принятия решений на межгосударственном уровне в области сохранения биосферы Земли.

В августе 1987 г. при участии ЮНЕСКО и ЮНЕП в Москве проходил Международный конгресс по образованию и подготовке кадров в области охраны окружающей среды. На нем было отмечено, что цель экологического образования на современном уровне — это обеспечение оптимизации отношения человека к биосфере. Для удовлетворения жизненных потребностей растущего населения планеты необходимо устойчивое социально-экономическое развитие человеческого общества. Очевидно, уже настало время развернуть всемирную кампанию в целях экологического просвещения широких масс людей, что в конечном итоге позволит сохранить и улучшить природу нашей планеты. Именно коллективный разум всего человечества, опирающийся на новейшие достижения науки и техники, позволит в будущем осуществить идею В. И. Вернадского о ноосфере.

Могучее развитие производительных сил, связанное с овладением ядерной энергией, развитием кибернетики и электроники, освоением околосолнечного пространства, может в не столь далеком будущем обеспечить изобилие материальных благ. Но при этом мы должны помнить слова нашего великого композитора П. И. Чайковского, который писал: «Могущество страны не только в одном материальном богатстве, но и в духе народа. Чем шире, свободнее эта душа, тем большего величия и силы достигает государство. А что воспитывает широту духа, как не эта удивительная природа. Ее надо беречь, как мы бережем самую жизнь человека. Потомки никогда не простят нам опустошения Земли, надругательства над тем, что по праву принадлежит не только нам, но и им».

Авакян А. Б., Салтанкин В. П., Шарапов В. А. Водохранилища мира. — М.: Мысль, 1987.
Агаджанян Н. А. Человек и биосфера (медико-биологические аспекты). — М.: Знание, 1987.
Агаханянц О. Е. Ботаническая география СССР. — Минск: Высшая школа, 1986.
Андерсон Дж. М. Экология и науки об окружающей среде: биосфера, экосистемы, человек. — Л.: Гидрометеоиздат, 1985.
Атлантический океан/Под ред. А. П. Капицы. — Л.: Наука, 1984. (Из серии «География Мирового океана»).
Базилевич Н. И., Родин Л. Е., Розов Н. Н. Сколько весит живое вещество планеты?//Природа. — 1971. — № 1.
Биологические ресурсы Тихого океана. — М.: Наука, 1986.
Биологические ритмы. — М.: Мир, 1984.
Биология океана/Под ред. М. Е. Виноградова. — М.: Наука, 1977. — Т. I.
Биосфера/Сб. переводных работ с английского. — М.: Мир, 1972.
Борисов В. А., Белоусова Л. С., Винокуров А. А. Охраняемые природные территории мира. — М.: Агропромиздат, 1985.
Будыко М. И. Глобальная экология. — М.: Мысль, 1977.
Вагнер Й. Африка: рай и ад для животиых. — М.: Мысль, 1987.
Вальтер Г. Растительность земного шара. — М.: Прогресс, 1975.
Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. — М.: Наука, 1965.
Вернадский В. И. Биосфера (избранные труды по биогеохимии). — М.: Мысль, 1967.
В. И. Вернадский и современность. Сб./Под ред. Б. С. Соколова, А. Л. Яншина, А. Г. Назарова. — М.: Наука, 1986.
Виноградов М. Е. Эль-Ниньо разрушает экосистему прибрежных вод//Природа. — 1975. — № 1.
Влияние человека на климат. — М.: Знание, 1979.
Войткевич Г. В. Геологическая хронология Земли. — М.: Наука, 1983.
Войткевич Г. В. Происхождение и химическая эволюция Земли. — М.: Наука, 1983.
Войткевич Г. В. Биосфера Земли//География в школе. — 1987. — № 1.
Войткевич Г. В. Древность жизни и условия ее зарождения// Биология в школе. — 1987. — № 6.
Войткевич Г. В. Возникновение и развитие жизни иа Земле. — М.: Наука. — 1988.

Воронов А. Г., Дроздов Н. Н., Мяло Е. Г. Биогеография мира. — М.: Высшая школа, 1985.
Воронов А. Г. Биогеография с основами экологии. — М.: Изд-во МГУ, 1987.
Гладкевич Г. И., Лебедева И. В. Экономико-географические аспекты изучения марикультуры//Вестник МГУ, сер. География. — 1987. — № 6.
Горшков С. П. Земельные ресурсы мира. Антропогенные воздействия. — М.: Знание, 1987.
Грацианский А. Н. Природа Средиземноморья. — М.: Мысль, 1971.
Гржимек Б. Дикое животное и человек. — М.: Мысль, 1982.
Дозье Т. Опасные морские создания. — М.: Мир, 1985.
Дрейк Ч., Имбри Дж. и др. Океан сам по себе и для нас. — М.: Прогресс, 1982.
Дювиньо П., Танг М. Биосфера и место в ней человека. — М.: Прогресс, 1973.
Забелина Н. М. Национальный парк. — М.: Мысль, 1987.
Зайцев Ю. П. Жизнь морской поверхности. — Киев: Наукова Думка, 1974.
Зейбольд Е., Бергер В. Дно океана. — М.: Мир, 1984.
Зенкевич Л. А. К вопросу о древности океана и его фауны//История Мирового океана. — М.: Наука, 1971.
Индийский океан/Под ред. К. К. Маркова. — Л.: Наука, 1982. (Из серии «География Мирового океана»).
Калесник С. В. Общие географические закономерности Земли. — М.: Мысль, 1970.
Калесник С. В. Проблемы физической географии. — Л.: Наука, 1984.
Камшилов М. М. Эволюция биосферы. — М.: Наука, 1979.
Ковда В. А. Биосфера и человечество//Биосфера и ее ресурсы. — М.: Наука, 1971.
Ковда В. А. Почвенные ресурсы планеты//Природа. — 1974. — № 8.
Колесников Б. П., Моторина Л. В. Проблема рекультивации земель//Природа. — 1975. — № 4.
Кочуров Б. И. Влияние хозяйственной деятельности на почвы СССР//География и природные ресурсы. — 1982. — № 1.
Кроми В. Тайны моря. — Л.: Гидрометеоиздат, 1968.
Леме Ж. Основы биогеографии. — М.: Прогресс, 1976.
Лобова Е. В., Хабаров А. В. Почвы. — М.: Мысль, 1983. (Из серии «Природа мира»).
Лори А. Живой океан. — Л.: Гидрометеоиздат, 1976.
Львович М. И. Вода и жизнь. — М.: Мысль, 1986.
Марков К. К. и др. Введение в физическую географию. — М.: Высшая школа, 1978.
Миланова Е. В., Рябчиков А. М. Географические аспекты охраны природы. — М.: Мысль, 1979.

Мильков Ф. Н. Природные зоны СССР. — М.: Мысль, 1977.
Мировой океан. — М.: Мысль, 1970.
Михеев А. В., Галушин В. М. Охрана природы. — М.: Просвещение, 1987.
Никонов А. А. Человек воздействует на земную кору. — М.: Знание, 1980.
Овчинников В. В., Нестеров А. А. Рыбные ресурсы эпипелагиали//Биологические ресурсы Атлантического океана.— М.: Наука, 1986.
Пармузин Ю. П. Тайга СССР. — М.: Мысль, 1985.
Перельман А. И. Биокосные системы Земли. — М.: Наука, 1977.
Перельман А. И. Земная кора и биосфера. — М.: Знание, 1985.
Перес Ж. М. Жизнь в океане. — Л.: Гидрометеоиздат, 1969.
Риклефс Р. Основы общей экологии. — М.: Мир, 1979.
Риффо К. Будущее — океан. — Л.: Гидрометеоиздат, 1978.
Ричиути Э. Р. Опасные обитатели моря. — Л.: Гидрометеоиздат, 1979.
Родин Л. Е., Базилевич Н. И. О биологической продуктивности растительного покрова//Проблемы современной ботаники. — М.; Л.: Наука, 1965. — Т. I.
Соколов Б. С. и др. Палеонтология и эволюция биосферы. — Л.: Наука, 1983.
Соколов В. Е., Зыков К. Д. Биосфера и человек//Биология в школе. — 1987. — № 4.
Сытник К. М., Брайон А. В., Гордецкий А. В. Биосфера. Экология. Охрана природы. — Киев: Наукова Думка, 1987.
Сукачев В. Н. Основы лесной типологии и биогеоценологии//Избранные труды. — Л.: Наука, 1972. — Т. I.
Трусов Ю. П. Понятие о ноосфере//Природа и общество. — М.: Наука, 1968.
Федоров К. Н. Этот капризный младенец Эль-Ниньо//Природа. — 1984. — № 8.
Физическая география Мирового океана/Под ред. К. К. Маркова. — Л.: Наука, 1980.
Фокин А. Д. Почва, биосфера и жизнь на Земле. — М.: Наука, 1986.
Фукарек Ф., Мюллер Г., Шустер Р. Растительный мир Земли. — М.: Мир, 1982. — Т. 1—2.
Чернов Ю. И. Жизнь тундры. — М.: Мысль, 1980.
Чилдресс Д. Дж. и др. Симбиоз в глубинах океана//В мире науки. — 1987. — № 7.
Шеппард Ч. Жизнь кораллового рифа. — Л.: Гидрометеоиздат, 1987.
Шикломанов И. А. Динамика водопотребления и водообеспеченности в мире//Водные ресурсы. — 1986. — № 6.
Эрхард Ж., Сежен Ж. Планктон (состав, экология, загрязнение). — Л.: Гидрометеоиздат, 1984.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Учебное нздание

Войткевич Георгий Внтольдовнч
Вронскнй Владимир Александрович

ОСНОВЫ УЧЕНИЯ О БИОСФЕРЕ

Зав. редакцией *Л. И. Елховская*
Редактор *Е. К. Липкина*
Младшнй редактор *М. В. Зарвирова*
Редактор карт *Н. И. Степанова*
Оформленне *Л. В. Иванов*
Художннк *В. А. Сайчук*
Художественный редактор *Е. А. Михайлова*
Техннческнй редактор *З. А. Муслимова*
Корректор *И. Н. Панкова*

ИБ № 11778

Сдано в набор 07.09.88. Подпнсано к печати 28.11.88. А-05811. Формат 60×90¹/₁₆. Бум. кн.-журн. офсет. Гарннтура Лнтературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 10,0. Усл. кр.-отт. 10,37. Уч.-нзд. л. 11,05. Тнраж 100 000 экз. Заказ 1993. Цена 30 коп.

Ордена Трудового Красного Знамеин издательство «Просвещенне» Государственного комнтета РСФСР по делам издательств, полнграфии н киижной торговли. 129846, Москва, 3-й проезд Марьииой рощн, 41.

Областная ордена «Знак Почета» тнпографня нм. Смнрнова Смоленского облуправления издательств, полнграфни и кннжиой торговлн. 214000, г. Смоленск, проспект им. Ю. Гагарниа, 2.

ат
ая.
кз.

рст-
гов-

обл-
нск,

30 к.

